

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
**KATEDRA ENERGETIKY**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2016**

**Bc. ONDŘEJ KIČMER**

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**FAKULTA STROJNÍ**  
**KATEDRA ENERGETIKY**

**NÁVRH DENITRIFIKAČNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO**  
**TEPLÁRENSKÝ ZDROJ 2 x 37,7MWt**

**PROPOSAL OF DENITRICATION EQUIPMENT FOR**  
**HEAT PLANT 2 X 37,7MWt**

**Student:**

**Bc. Ondřej Kičmer**

**Vedoucí diplomové práce:**

**doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

**OSTRAVA 2016**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Ondřej Kičmer**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma:

Návrh denitrifikačního zařízení pro teplárenský zdroj 2 x 37,7 MWt  
Proposal of Denitrification Equipment for Heat Plant 2 x 37.7 MWt

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro denitrifikaci spalin metodou SNCR pro teplárenský zdroj o jmenovitém výkonu 50 t/h páry o parametrech 3,7 MPa a teplotě 445 °C, spalující černé uhlí. Podmínkou je dosažení emisních parametrů NOx 280 mg/m<sup>3</sup>, CO 100 mg/m<sup>3</sup> při účinnosti kotle 88%.

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši současných možností denitrifikace spalin pro kotle podobných výkonů.
2. Vypracujte popis spalovacího zařízení a navrhněte vhodný způsob denitrifikace.
3. Proveďte výpočty hmotové bilance paliva, spalin a provozních hmot pro denitrifikaci.
4. Proveďte vyhodnocení teplotního a koncentračního měření ve spalovací komoře kotle a navrhněte vhodná místa pro instalaci vstřikovacích zařízení.
5. Vypracujte návrh denitrifikačního zařízení s ohledem na uspořádání teplárny.
6. Vypracujte výkres rozmístění vstřikovacích trysek v 1. tahu kotle a návrh konstrukčního uspořádání vstřikovací trysky s uchycením na kotli.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] JANEBA, J., KARTÁK, K. Výpočty kotlů a parogenerátorů. 1. vyd. Praha: ČVUT 1985. 83 s  
[2] RAJNIAK, I. a kol. Tepelno-energetické a emisné merania, Istre Science, Bratislava 97. ISBN 80-88683-20-3  
[3] Zprávy katedry energetiky VŠB-TU Ostrava.

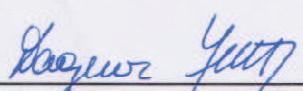
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



  
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 12.5.2016

.....

podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 12.5.2016

  
.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Ondřej Kičmer

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Petrovice u Karviné 111, 735 72

### **Poděkování**

Děkuji tímto za cenné rady, informace a připomínky mému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Bohumíru Čechovi. Dále bych rád poděkoval celé měřicí skupině za naměřené hodnoty, bez kterých bych se neobešel. Tato diplomová práce vznikla s využitím infrastruktury centra ENET.

Bc. Ondřej Kičmer

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. KIČMER, O. „*Návrh denitrifikačního zařízení pro teplárenský zdroj 2 x 37,7MW<sub>t</sub>*“ *diplomová práce*: Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2016, 61 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Čech, B.

Diplomová práce se zabývá možnostmi denitrifikací kotlů nižších výkonů metodou SNCR. Práce začíná popisem oxidu dusíku, a jak vznikají. Dále jsou popsány možnosti odstranění oxidů dusíku ze spalin primárními a sekundárními metodami. Je proveden návrh primárních opatření pro daný teplárenský zdroj a jsou provedeny výpočty bilance paliva, spalin a provozních hmot pro denitrifikaci. Po vyhodnocení teplotních a koncentračních polí, je navrženo rozmístění technologie SNCR s ohledem na uspořádání teplárny. Na závěr je udělán výkres rozmístění vstřikovacích trysek v 1. tahu a návrh konstrukčního uspořádání s uchycením na kotli.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. KIČMER, O. „*Proposal of denitrification equipment for heat plant 2 x 37,7mw*“ *Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Energy, 2016, 61 p. Thesis head: doc. Dr. Ing. Čech, B.

The Master thesis deals with the denitrification of the boilers of lower output. The thesis starts by describing nitrogen oxides and processes that they create. Next the possibilities of the elimination of nitrogen oxides from flue gases primary and secondary methods are described. It has done the design of the primary measure for the heating plant source and the calculations of fuel's balance, flue gases and operating materials for denitrification are done too. After evaluation of the thermal and concentration fields the placement of SNCR technology is designed given to the organization of the heating plant. At the end of the thesis there is the drawing layout of the injectors in the first tension and the design of the structural arrangement with fixing on the boiler.

# OBSAH

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>2. POPIS OXIDŮ DUSÍKU .....</b>	<b>13</b>
2.1    Oxid dusný.....	14
2.2    Druhy NO <sub>x</sub> .....	15
<b>3. SOUČASNÉ MOŽNOSTI DENITRIFIKACE SPALIN PRO ENERGETICKÉ KOTLE NIŽŠÍCH VÝKONŮ.....</b>	<b>16</b>
3.1    Primární opatření .....	17
3.2    Sekundární opatření.....	19
3.3    Selektivní nekatalytická metoda (SNCR).....	23
3.4    Kombinace metod SNCR/SCR.....	24
3.5    Kombinované procesy odsiřování a denitrifikace spalin.....	25
<b>4. POPIS SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ A NÁVRH VHODNÉHO ZPŮSOBU DENITRIFIKACE.....</b>	<b>26</b>
4.1    Popis kotlů K1 a K3 .....	26
4.2    Technická data kotlů K1 a K3 .....	26
<b>5. PRIMÁRNÍ OPATŘENÍ.....</b>	<b>28</b>
5.1    Práškové hořáky .....	28
5.2    Plynové zapalovací a stabilizační hořáky .....	29
5.3    Potrubí uhelného prášku .....	29
5.4    Potrubí horkého vzduchu.....	30
5.5    Recirkulace spalin .....	30
<b>6. HMOTOVÉ BILANCE PALIVA, SPALIN A PROVOZNÍCH HMOT PRO DENITRIFIKACI.....</b>	<b>32</b>
6.1    Garanční palivo .....	32
6.2    Hmotová bilance paliva K1 .....	33
6.3    Bilance spalin K1 .....	34
6.4    Výpočet spotřeby paliva K1 .....	36
6.5    Hmotové bilance provozních hmot pro denitrifikaci K1.....	36
6.6    Hmotové bilance paliva K3 .....	38
6.7    Bilance spalin K3 .....	39
6.8    Výpočet spotřeby paliva K3 .....	41



6.9	Hmotové bilance provozních hmot pro denitrifikaci K3.....	41
<b>7.</b>	<b>VYHODNOCENÍ TEPLOTNÍCH A KONCENTRAČNÍCH MĚŘENÍ VE SPALOVACÍ KOMOŘE .....</b>	<b>43</b>
7.1	Metodika měření jednotlivých veličin, výběr měřicích míst.....	43
7.2	Měření teploty ve spalovací komoře a ve II. tahu kotle .....	44
7.3	Měření koncentrace CO a O <sub>2</sub> .....	45
7.4	Zkouška č.1 Výkon kotle 45t/h páry se stabilizací plynem.....	46
7.5	Zkouška č.2 Výkon kotle 45 t/h páry bez stabilizace plynem.....	47
7.6	Zkouška č.3 Výkon kotle 35 t/h páry se stabilizací plynem.....	47
7.7	Zkouška č.4 Výkon kotle 25 t/h páry se stabilizací plynem.....	47
7.8	Závěr měření.....	48
<b>8.</b>	<b>SEKUNDÁRNÍ OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ EMISÍ NO<sub>x</sub> (TECHNOLOGIE SNCR) .....</b>	<b>49</b>
8.1	Hlavní části technologie SNCR.....	49
8.2	Stáčiště redukčního přípravku .....	49
8.3	Ponorná čerpadla .....	51
8.4	Směšovací moduly.....	53
8.5	Systém vstřikování do kotlů K1 a K3.....	54
8.6	Vodárna a potrubí filtrované vody .....	55
8.7	Kompresorová stanice, sušiče vzduchu a potrubí.....	56
<b>9.</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>59</b>
<b>10.</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>60</b>
<b>11.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>61</b>

## Seznam značení

### Použité veličiny

Značka	Jednotka	Veličina
A	$[\text{kg.kg}^{-1}]$	Poměrný obsah popelu v palivu
C	$[\text{kg.kg}^{-1}]$	Obsah uhlíku
c, $c_s$	$[\text{J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}]$	Střední měrná tepelná kapacita spalín
i	$[\text{J.m}^{-3}]$	Entalpie vztažená na $1 \text{ m}^3$
I	$[\text{J.kg}^{-1}]$	Entalpie vztažená na $1 \text{ kg}$
$\dot{m}$	$[\text{kg.s}^{-1}]$	Hmotnostní tok
n	$[\text{min}^{-1}]$	Otáčky
n	[1]	Přebytek vzduchu
p	[Pa]	Tlak
P	[W]	Výkon, Příkon
$Q_i$	$[\text{J.kg}^{-1}]$	Výhřevnost paliva
t	$[\text{°C}]$	Teplota
V	$[\text{m}^3.\text{kg}^{-1}]$	Objem vzduchu nebo spalín vztažený na $1 \text{ kg}$ paliva
$V^{\text{daf}}$	[1]	Obsah prchavé složky v hořlavině
W	$[\text{kg.kg}^{-1}]$	Poměrný obsah vody v palivu
$\alpha$	[1]	Součinitel přebytku aditiva
$\Delta$	[1]	Změna, rozdíl difference
$\eta$	[1]	Účinnost
v	[1]	Součinitel respektující zvětšení objemu suchého vzduchu v důsledku vlhkosti

### Použité chemické vzorce

Vzorec	Název
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Oxid hlinitý
Ar	Argon
C	Uhlík; hořlavina v tuhých zbytcích
$\text{CH}_3\text{CO}(\text{O}_2)\text{NO}_2$	Peroxyacetyl dusičný(PAN)
Co	Kobalt

Cr	Chrom
Cu	Měď
Fe	Železo
H <sub>2</sub>	Vodík
HNO <sub>3</sub>	Kyselina dusičná
H <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Kyselina dusná
H <sub>2</sub> O	Voda; vodní pára
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kyselina sírová
Mn	Mangan
Mo	Molybden
MoO <sub>3</sub>	Oxid molybdenový
NO	Oxid dusnatý
NO <sub>2</sub>	Oxid dusičitý
N <sub>2</sub>	Dusík
N <sub>2</sub> O	Oxid dusný
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid dusitý
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Tetraoxid dusíku
N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Oxid dusičný
NH <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amoniak
NH <sub>4</sub> Cl	Chlorid amonný
NH <sub>4</sub> HSO <sub>4</sub>	Hydrogensíran amonný
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Síran amonný
O <sub>2</sub>	Kyslík
S	Síra
SiO <sub>2</sub>	Oxid křemičitý
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý
SO <sub>3</sub>	Oxid sírový
TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Oxid vanadičný
WO <sub>3</sub>	Oxid wolframový

### **Použité exponenty**

Exponent	Význam
d	Sušina, suchý stav
daf	Hořlavina (palivo bez vody a popela)
př	Stav před změnou
po	Stav po změně
s	Suchý stav
sk	Skutečný stav
t	Teoretický stav
vz	vzduch
r	Surový stav

### **Použité zkratky**

Zkratka	Význam
DEMI	Demineralizovaná voda
EO	Elektroodlučovač
Max.	Maximální hodnota
Min.	Minimální hodnota
PTC	Termistor
SK	Spalovací komora
SCR	Selektivní katalytická redukce
SNCR	Selektivní nekatalytická redukce
TG	Turbogenerátor
TKV	Teplárna Karviná



# 1. ÚVOD

Člověk, stejně jako všechny ostatní organismy, potřebuje ke své existenci neustálý přísun energie. Člověk je současně jediným tvorem, který se naučil energii účelově přeměňovat a využívat nejen pro své potřeby, ale i k práci a požitku. Již od pradávna se ji proto snažil různými způsoby vyrobit, uchovat a zužítkovat. Závislost člověka na energii se nadále prohlubuje, proto se neustále navyšuje výroba elektrické energie a stále stoupá automobilová doprava a narůstá počet tepelných elektráren a tepláren ve světě.

Jedinou možnou reakcí na tento jev je zpřísnění limitů na emise jak plynné, tak i tuhé. První celosvětovou reakcí je Kjótský protokol, zde hlavně emise  $\text{CO}_2$ , po něm následují další dohody a smlouvy na mezinárodní úrovni, které si kladou za cíl snížení emisí. Přísnější limity pro emise síry, oxidů dusíku a tuhých znečišťujících látek, které začaly platit počínaje rokem 2016 (resp. od roku 2022 pokud provozovatelé výroben využili možnosti přechodového období), nutí majitele teplárenských zdrojů instalovat kromě filtrů zachycujících tuhé znečišťující látky, rovněž zařízení na snížení emisí oxidů síry a oxidů dusíku. Diplomová práce je zaměřena na denitrifikaci kotlů v Teplárně Dolu ČSM v Karviné. Denitrifikace plyných spalin. Pojem denitrifikace znamená snížení znečišťujících látek, především sloučenin  $\text{NO}_x$  z plyných spalin. Tyto sloučeniny vznikají při spalování paliv za vysokých teplot (řádově teploty přesahující  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ), kdy nejvýrazněji vznikají termické sloučeniny dusíku. Do spalin se uvolňují palivové sloučeniny vázané právě v hořlavině daného paliva také rozkladem.

## 2. POPIS OXIDŮ DUSÍKU

Oxidy dusíku označujeme  $\text{NO}_x$  a řadíme mezi ně oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ). Oxidy dusíku patří v současné době k hlavním problémům znečišťování ovzduší. Důvodem je i to, že jsou součástí chemických reakcí vedoucích ke vzniku přízemního ozonu. Oxidy dusíku, způsobují společně s oxidy síry kyselé deště, které devastují přírodu. Zdroji  $\text{NO}_x$  jsou jak stacionární zdroje (vytápění a elektrárny), tak doprava (spalovací motory).

Název	Vzorec	Oxidační schopnost	Hlavní zdroj
<b>Amoniak</b>	$\text{NH}_3$ , $\text{NH}_4^+$	3-	Zemědělství
<b>Oxid dusný</b>	$\text{N}_2\text{O}$	1+	Půda, spalování
<b>Oxid dusnatý</b>	NO	2+	Spalování
<b>Oxid dusitý</b>	$\text{N}_2\text{O}_3$	3+	Chem. reakce v atmosféře
<b>Oxid dusičitý</b>	$\text{NO}_2$	4+	Spalování
<b>Oxid dusičný</b>	$\text{N}_2\text{O}_5$	5+	Chem. reakce v atmosféře
<b>Kyselina dusičná, dusičnany</b>	$\text{HNO}_3$ , $\text{NO}_3^-$	5+	Chem. reakce v atmosféře
<b>Kyselina dusná</b>	$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$	3+	Chem. reakce v atmosféře
<b>Peroxyacetyldusičný (PAN)</b>	$\text{CH}_3\text{CO}(\text{O}_2)\text{NO}_2$	5+	Chem. reakce v atmosféře
<b>Organické dusičnany</b>	$\text{RONO}_2$	5+	Chem. reakce v atmosféře

tab. 1 Nejvýznamnější dusíkaté sloučeniny

Oxidy dusíku vznikají při spalovacích procesech z dusíku obsaženého ve vzduchu. Ve většině případů je emitován do ovzduší oxid dusnatý, který je transformován oxidací na oxid dusičitý. Mezi nejvýznamnější oxidy dusíku, které se snažíme ze spalin odstranit, patří oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) a oxid dusnatý ( $\text{NO}$ ). Oxid dusičitý se vyskytuje buď jako červenohnědý, agresivní, prudce jedovatý plyn nebo žlutohnědá kapalina, která tuhne na bezbarvé krystaly. Oxid dusičný je bezbarvý, někdy až nahnědlý plyn. Pro tento plyn je typický ostře nasládlý zápach. Jsou to sloučeniny  $\text{O}_2$  a  $\text{N}_2$  a jejich reakce vzniká endotermně. Reakce je velmi závislá na teplotě. Při teplotách nad  $1200^\circ\text{C}$  vzniká převážně  $\text{NO}$ , při nižších teplotách pod  $1200^\circ\text{C}$   $\text{NO}_2$ . Jednoduše můžeme říci, že  $\text{NO}$  vzniká ve spalovací komoře a  $\text{NO}_2$  až při postupné oxidaci po průchodu přes výměníky tepla. Oxidace je však velice pomalá a finální poměr je 95:5 ve prospěch  $\text{NO}$ .

Kromě těchto dvou oxidů vzniká, také ve velmi malém množství i oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ), vzniká zejména spalováním ve fluidních kotlích, tzn. při nižších teplotách spalování. Je pro ozónovou vrstvu ještě větší problém než freony. Jeho koncentrace v atmosféře je tisíckrát menší než oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ), ale pro ozónovou vrstvu je srovnatelné množství  $\text{N}_2\text{O}$  200krát horší než  $\text{CO}_2$ . V menším množství v atmosféře můžeme najít oxid dusičný ( $\text{N}_2\text{O}_5$ ), tetraoxid dusíku ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) a oxid dusitý ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ).



## 2.1 OXID DUSNÝ

Oxid dusný je významnou složkou atmosféry. Je ze všech oxidů dusíku nejnižší a nejstabilnější, jeho koncentrace stoupla z hodnoty cca 285ppb v předindustriálním období na dnešní hodnotu 313 – 321ppb přičemž roční přírůstek v současné době je 0,6 – 1ppb, v roce 2030 se předpokládá koncentrace cca 375ppb.

$\text{N}_2\text{O}$  je plyn, který má četná využití v lékařství a zubní péči, zejména jako anestetikum a pro snadný úvod do narkózy, inhalování tohoto plynu za jiným než lékařským účelem je staré téměř 200 let, našel další využití při vstřikování  $\text{N}_2\text{O}$  do spalovacího prostoru za účelem zvýšení výkonu motoru. Tohoto bylo využito poprvé v Německém leteckém průmyslu za II. světové války. Německá letadla používala tzv. systém "GM-1", který přidával  $\text{N}_2\text{O}$  do sacího potrubí aby se kompenzovala menší hustota vzduchu ve vyšších výškách a tím i menší množství "vzdušného" kyslíku.

Později to používalo i anglické letectvo. V 50. letech v USA kdy začaly být v oblibě automobilové závody načerno někteří jezdci používat tuto "energetickou bombu", ale brzy na to přišla NASCAR a postavila  $N_2O$  mimo zákon. Koncem 70. a začátkem 80. let začal  $N_2O$  pronikat do závodů dragsterů, kde se dodnes stále používá.

Vznik a přeměny oxidů dusíku v přírodě jsou součástí biogeochemického cyklu dusíku. Oxid dusný vzniká zejména přírodní cestou při denitrifikačních procesech za anaerobních podmínek v půdách, sedimentech, hydrosféře, tropických pralesích apod. Oxid dusný antropogenního původu je emitován do ovzduší při spalování fosilních paliv a biomasy, při provozu motorů, z některých výrobních ale také v důsledku přeměny tropických pralesů na pastviny. Přičemž podíl antropogenních zdrojů se odhaduje mezi 25 – 50 % na celkové produkci. Objem emitovaného  $N_2O$  z přírodních zdrojů je více méně konstantní, zatímco emise antropogenního původu neustále vzrůstají. Hlavní environmentální dopady jsou: skleníkový efekt a narušování ozonové vrstvy.

## **2.2 DRUHY $NO_x$**

Oxidy dusíku vznikají oxidací chemicky vázaného dusíku v palivu a molekulárního dusíku ve vzduchu při spalování fosilních paliv. Rozhodující je teplota ve spalovací komoře a přebytek vzduchu, proto je velký rozdíl množství emisí  $NO_x$  u kotlů s výtavným ohništěm a fluidních kotlů. Podle tvorby dělíme oxidy dusíku na palivové, termické a promptní neboli rychlé. Jednotlivé množství ve spalinách není stejné a mění se podle teploty.

### **2.2.1 Palivový NO**

Jeho vznik je spjatý s dusíkem vázaným na dusíkaté sloučeniny v palivu. Množství dusíku, které oxiduje při spalování je jen 10-25%. Při hoření se prvotně dusík uvolňuje v prchavém podílu, tato tvorba závisí hlavně na přebytku vzduchu, koncentraci dusíku a částečně na teplotě. Část zůstává v tuhém zbytku. Čím větší je poměr pevného uhlíku a prchavého podílu, tím více emisí  $NO_x$  bude. Naopak čím větší je obsah popelovin v palivu, tím menší je vznik  $NO_x$ . Podíl emisí  $NO_x$  z palivového dusíku je mezi 35-80%.



### 2.2.2 Termický NO

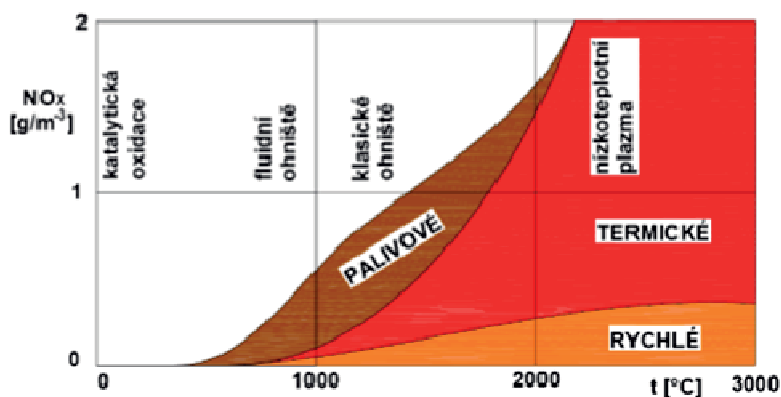
Tvoří se především z dusíku ve vzduchu, při teplotě na 1300°C. Další důležitou podmínkou je rychlost reakce a množství kyslíku. Rychlost produkce se zdvojnásobí, když teplota stoupne přibližně o 40°C.

Teplota (°C)	700	900	1200	1600	1800
Konc. NO (10-4 % obj.)	11	68	420	1920	3300

tab. 2 Vznik termických NO v průběhu teplot

### 2.2.3 Rychlý NO

Neboli promptní, ve většině spalovacích zařízení je podíl rychlých NO zanedbatelný, protože vzniká ve větším množství při teplotách nad 2000°C. Tvorba je velmi závislá na množství vzduchu. Vznik rychlých NO můžeme lokalizovat na rozhraní plamene oxidací chemického vázaného kyslíku.



Obr. 1 Vznik jednotlivých NO v závislosti na teplotě

## 3. SOUČASNÉ MOŽNOSTI DENITRIFIKACE SPALIN PRO ENERGETICKÉ KOTLE NIŽŠÍCH VÝKONŮ

První otázkou je, proč musíme denitrifikaci vůbec provést. Je to snížení emisí NO<sub>x</sub> ze spalín. Takže nejlepší by bylo emise NO<sub>x</sub> vůbec nevytvářet, to znamená spalovat takové paliva, u kterých nedojde k oxidaci dusíku a použít k samotnému procesu hoření vzduch zbavený dusíku. V praxi tohle řešení nelze použít hlavně z ekonomického důvodu, proto musíme využít primárních a sekundárních opatření.

Tvorba emisí  $\text{NO}_x$  závisí především na technologii spalování daného paliva v kotli. V tomto ohledu nejhorší jsou kotle výtavné, je to dáno rychlým uvolněním tepla na jednotku objemu spalovací komory, které je potřebné pro provozování kotle s roztavenou struskou. Nejlepší a myslím tím s nejnižšími emisemi  $\text{NO}_x$  pracují fluidní kotle.

### **3.1 PRIMÁRNÍ OPATŘENÍ**

Je zaměřeno na úpravu spalovacího procesu, tak aby se potlačil vznik  $\text{NO}_x$ . Můžou to být opatření týkající se objemu spalovací komory nebo dva či více kombinovaných opatření. Tyto opatření mají poměrně levné provozování, nepotřebují příliš prostoru a snižují  $\text{NO}_x$  po celou dobu životnosti kotle. Naopak nevýhodou je účinnost, která je mezi 10-30% podle velikosti kotle a vyšší pořizovací náklady. Veškeré aplikace úprav by měly splňovat nebo se alespoň přiblížit určitým bezpečným provozním podmínkám:

- vyhnout se korozi a abrazi
- udržet stabilitu plamene
- vyhnout se struskování a tečení popela (pokud tečení nevyžadujeme např. výtavné kotle)
- mít nízký nedopal v palivu
- splnit limit CO
- provoz beze změn na ekonomizéru a přehříváku páry

#### **3.1.1 Jemnost mletí**

V této oblasti je stále prostor pro možné zlepšení. Zejména pro zvětšení jednotkového povrchu prášku a rovnoměrnosti velikosti částic. Při zvýšené jemnosti mletí můžeme snížit přebytek vzduchu, emise  $\text{NO}_x$  a snížení nebo alespoň zachování nedopalu v tuhých zbytcích.

#### **3.1.2 Nízký přebytek vzduchu při spalování**

Je to velmi jednoduchý a poměrně účinný způsob, který se používá ve výtopnách a teplárnách. Mezi výhody tohoto opatření patří nízké náklady na konstrukční změny v kotli a možné zvýšení účinnosti kotle. Naopak mezi nevýhody patří tvorba nánosů

na teplosměnné plochy a jejich koroze z důvodů neúplného spálení paliva. Tato možnost snížení  $\text{NO}_x$  se více osvědčila u kotlů na hnědé uhlí než na černé.

### **3.1.3 Snížení teploty přehřátého vzduchu**

Toto opatření velmi dobře přispívá k omezení vzniku termických NO, snížením teplotního maxima v primární spalovací zóně. Z důvodů snížení účinnosti kotle se toto opatření příliš nepoužívá.

### **3.1.4 Recirkulace spalin**

Zavádí se z důvodů snížení obsahu kyslíku při spalování a snížení teplotního maxima v plameni. Nejúčinnější je přivádění spalin do primárního vzduchu jednostupňového hořáku, protože nahradíme část vzduchu spalinami. Sekundární vzduch musíme úměrně zvýšit, aby se nezměnilo potřebné množství kyslíku ke spálení paliva. Toto opatření se provádí pro zařízení, kde vznikají vysoké teploty a to především kotle výtavné, kotle na kapalná, plynná paliva a kvalitní černé uhlí. Musíme také brát v úvahu vliv zvýšeného průtoku a změny přestupu tepla.

### **3.1.5 Nízkoemisní hořáky s tzv. OFA vzduchem**

Základním principem nízkoemisního hořáku je postupné přivádění vzduchu, paliva nebo obou do hořáku respektive nad hořák. Palivo se přivádí s primárním vzduchem, odděleném od sekundárního vzduchu a vytvoří se primární plamen s nedostatkem kyslíku a spalování je podstechiometrické. Těkavé látky a převážná část dusíku z paliva se odpaří. Díky redukční atmosféře a vysoké koncentraci CO je omezeno dusíku oxidovat na NO. Pro stabilitu sekundárního plamene je důležitý vír, který vznikne z turbulence přiváděného sekundárního vzduchu. Pro postupné prohoření paliva a omezení teploty plamene je spalovací vzduch rozdělen a postupně přiváděn ještě terciální a OFA vzduch, který je veden nad hořáky. Od primárního plamene až po OFA vzduch se postupně spalování mění od podstechiometrického až po lehce nadstechiometrické (cca 1,2). Další možnost je, že palivo může být přiváděno i se sekundárním a terciálním vzduchem a pomocí vířících lopatek dosáhnout ještě lepšího prohoření uhlí. Upravit můžeme pomocí konstrukčních změn i stávající hořák a vyrobit z něj nízkoemisní.

### 3.1.6 Overburning, reburning

V překladu tyto slova znamenají přepalování nebo dodatečné spálení. Tato technologie je pro stávající kotle nákladná a proto se využívá u nových kotlů, kde se s touto možností dopředu počítá. Jedná se o spalování ve třech zónách. V primární zóně je nízkoemisní hořák. V další zóně tzv. redukční se přivádí dodatekové palivo pro vytvoření ještě větší redukce  $\text{NO}_x$ . Za vysoké teploty a nízkého přebytku vzduchu se z dodatekového paliva vytvoří radikály uhlovodíku a ty reagují s  $\text{NO}$  na  $\text{N}_2$ . Ve třetí a poslední zóně se přidává spalovací vzduch a nezreagované palivo dohoří. Množství  $\text{NO}$  vytvořené v primární zóně je zredukováno na polovinu a méně. Musíme, ale dodržet teplotu  $1200^\circ\text{C}$  a dobu reakce 0,1s. Jako palivo pro redukční zónu lze použít zemní plyn, kapalná paliva nebo cenově dostupné uhlí. Abychom zabránili nedopalu, tak uhlí pomocí pyrolýzy zplyňujeme spalinami odebranými před ekonomizérem s teplotou  $350 - 650^\circ\text{C}$ . Vzniklý plyn vedeme do spalin pro vytvoření redukční zóny. Zbylý polokoks přimícháme k hlavnímu palivu do kotle.

## 3.2 SEKUNDÁRNÍ OPATŘENÍ

Pokud pomocí primárních metod na snížení  $\text{NO}_x$  nedosáhneme požadovaného emisního limitu, musíme využít sekundární metody. Jsou to suché fyzikálně chemické procesy, ve kterých probíhá selektivní redukce. Mokré procesy se v praxi příliš neuplatnily.

### 3.2.1 Selektivní katalytická redukce (SCR)

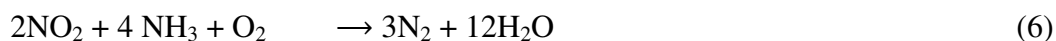
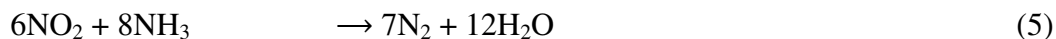
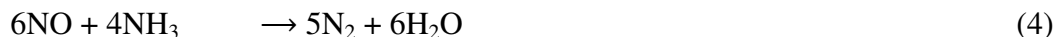
Selektivní redukce probíhá pomocí různých katalyzátorů a různých teplot od  $80 - 420^\circ\text{C}$ . Katalyzátor může být aktivní uhlíkový materiál nebo na bázi kovových aktivních složek, či zeolitů. Podle katalyzátoru se mění i mechanismus reakce. Na kovových a zeolitových katalyzátorech probíhají reakce Eley-Ridealovými mechanismy. Na uhlíkových materiálech pomocí Langmuir–Hinselwoodova mechanismu a kromě  $\text{NO}_x$  se absorbuje také  $\text{NH}_3$ .

Účinnost metody SCR především závisí na vlastnostech katalyzátoru, zejména velikosti aktivní plochy, teplotě spalin, stechiometrii  $\text{NH}_3:\text{NO}_x$ , koncentraci  $\text{O}_2$  a rozdílu koncentrace  $\text{NO}_x$  před a za katalyzátorem. Účinnost bývá vysoká 80-90%. Klíčovým parametrem denitrifikace je objemová rychlost spalin, je to míra doby setrvání spalin



na katalyzátoru. Kromě objemové rychlosti se uplatní také postupová rychlost, která je poměrem mezi objemovou rychlostí a měrnou plochou katalyzátoru.

Chemické reakce, které probíhají při SCR



Mezi další reakce patří oxidace

$\text{NH}_3$  na  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  a  $\text{N}_2\text{O}$ .

Oxidace  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$  a torba  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  a  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

### 3.2.2 Možná struktura katalyzátorů

#### BLOKOVÉ KATALYZÁTORY

Jsou význačné velkým specifickým povrchem. Jako nosná podložka je použita keramika, na kterou je nanesen katalyzátor, skládající se z nosiče  $\text{TiO}_2$  nebo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a aktivních složek nejčastěji  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$  a  $\text{MoO}_3$ . Otvory bloku katalyzátoru respektive jejich velikost můžeme snadno měnit bez změny vnějších rozměrů.

#### DESKOVÉ KATALYZÁTORY

Jsou složeny z kovové mříže, na které je nanesen katalyzátor. Kovová mříž musí být odolná proti korozi, protože mohou nastat případy, kdy teplota spalin klesne pod rosný bod  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Vzdálenost mezi deskami může být různá podle obsahu popílku ve spalinách. Katalyzátor je odolnější proti zanášení prachem, než blokový katalyzátor. Katalyzátor, ale snadněji podléhá abrazi a může odpadnout z kovové mříže.

#### PELETIZOVANÝ KATALYZÁTOR

Pelety jsou buď z aktivního uhlí, nebo zeolitu. Můžou být nehybné nebo v případech, když obsah prachu ve spalinách je vyšší než  $20\text{-}30\text{ mg/m}^3$  ve fluidním loži.

### 3.2.3 Typy katalyzátoru

#### Nosič oxid titaničitý

Katalyzátor je více než z 90% tvořen právě nosičem a jen z 5-10% tvořen aktivními složkami. Jednou z důležitých aktivních složek je  $\text{V}_2\text{O}_5$ , který sice redukuje oxidy dusíku, ale napomáhá přeměně  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$ . Aby k této přeměně nedocházelo

je do katalyzátoru přidáván  $\text{WO}_3$  a omezí oxidaci pod 1%. Dalšími aktivními složkami jsou Cr, Fe, Cu, Co, Mn, Mo, Tento katalyzátor je provozován v rozmezí teplot 270-400°C.

### **Zeolit**

Je to porézní hydrát aluminosilikátu obsahující alkalické kationty. Může být vyráběn jako pelety nebo ve voštinových tvarech. Jeho vlastnosti jsou ovlivnitelné teplotou a poměrem  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ . Katalytická reakce je založena na Eley- Ridealovými mechanismu. Velikost pórů ovlivňuje průběh celé reakce, protože reagují jen ty molekuly, které projdou až k aktivním centrům. Tento katalyzátor negativně ovlivňuje obsah vodní páry vyšší než 16%, ale naopak velice dobře odolává vysokým koncentracím oxidu siřičitého a brání čpavkovému skluzu v případě předávkování. Provozuje se při teplotách 300-480°C objemových rychlostech 2000-4000h<sup>-1</sup>.

### **3.2.4 Varianty umístění reaktoru s katalyzátorem**

#### **Highdustsystem**

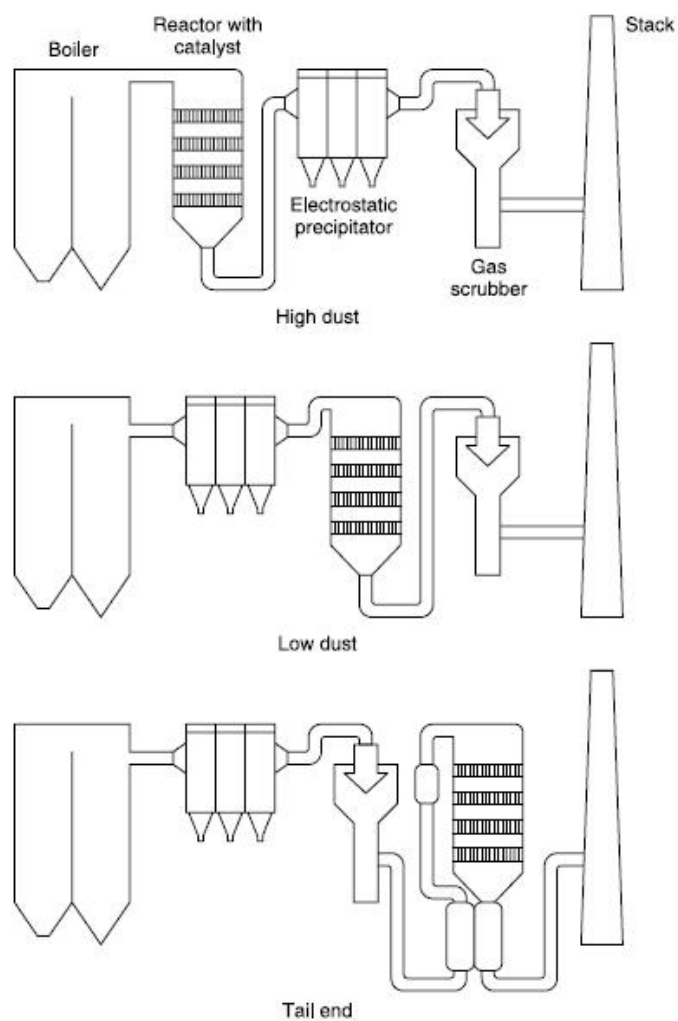
Tato možnost SCR je nejvíce rozšířená. Reaktor je umístěn před LUVU a elektrostatický filtr, hned za ekonomizér. Teplota zde bývá dostatečná a nemusí se používat příchřev spalin. Vysoký obsah prachu funguje jako abrazivum a odstraňuje úsady, ale může vyvolat erozi a otravu katalyzátoru. Kvůli prachu se zvýší požadavky na velikost katalyzátoru a tím i zástavbové rozměry.

#### **Lowdustsystem**

V tomto systému je před reaktorem horký elektrostatický odlučovač. Na první pohled jasnou výhodou je odprášení spalin před reaktorem a využití popílku do stavebních hmot. Méně prachu znamená menší abrazi a tím i větší náchylnost k usazování velmi jemného prachu, ale také menší pravděpodobnost otrávení katalyzátoru.

#### **Tail end**

Je v překladu zadní část, proto je i katalyzátor umístěn až před komínem. Tento systém je méně využíván, pro své vysoké náklady na dodatečný ohřev spalin. Má však mnoho výhod. Mezi hlavní výhody patří nejmenší aktivní plocha a nedochází u něj k tvorbě úsad popelem a spaliny jsou již zbaveny  $\text{SO}_2$ .



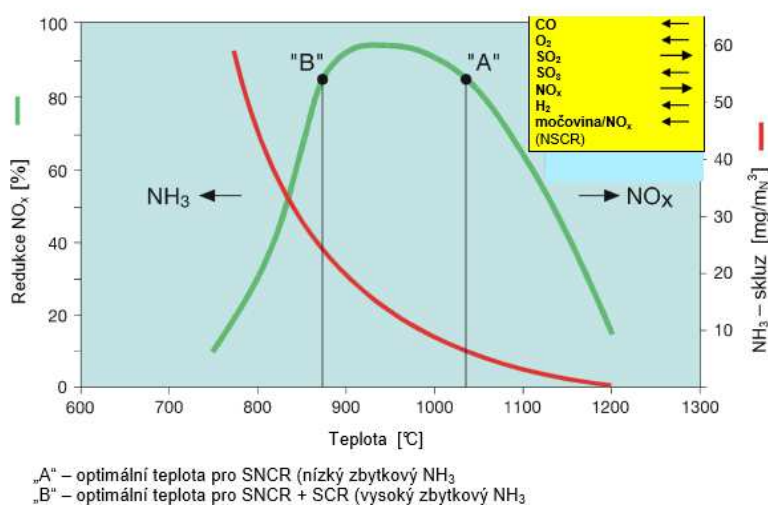
Obr. 2 Schéma umístění katalyzátoru SCR

Požadavky, které musí katalyzátory splňovat

- mít dlouhou životnost
- vykazovat vysokou aktivitu v širokém rozmezí teplot
- mechanickou odolnost
- malou tlakovou ztrátu
- chemická odolnost proti alkalickým kovům, těžkým kovům, halogenovým uhlovodíkům,  $\text{SO}_2$

### 3.3 SELEKTIVNÍ NEKATALITYCKÁ METODA (SNCR)

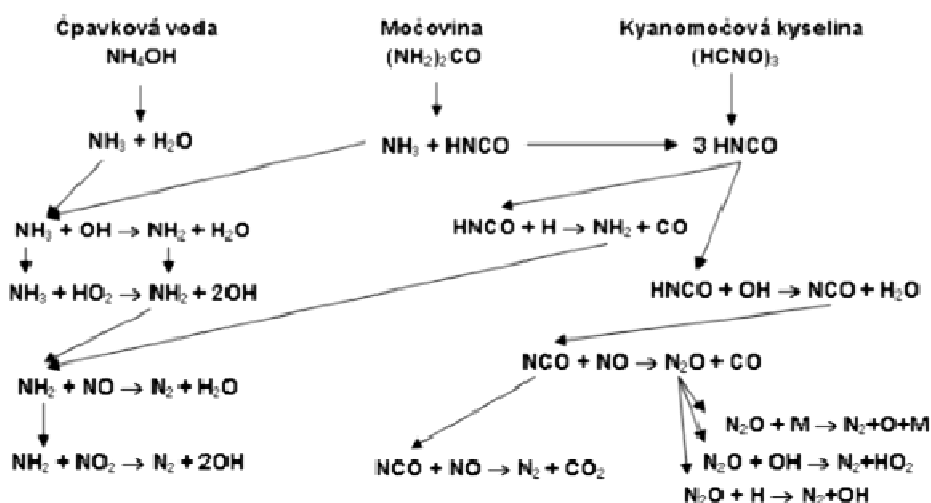
SNCR metoda redukuje  $\text{NO}_x$  bez přítomnosti katalyzátoru, nástřikem čpavku, čpavkové vody nebo močoviny do spalin v tzv. teplotním okénku, které se pohybuje v rozmezí  $850\text{--}1050^\circ\text{C}$  (podle použitého reagentu). Vhodné místo nástřiku redukčního činidla, bývá mezi spalovací komorou a ekonomizérem. Teplota spalin se mění s výkonem, proto je lepší mít možnost provádět nástřik z více míst (2 až 3 místa). Při nižším výkonu blíž k hořákům a při vyšším blíž k ekonomizéru. Pokud činidlo je nastříkováno v oblasti nižších teplot, dochází ke čpavkovému skluzu – čpavek nereaguje s  $\text{NO}_x$  a je vynášen spaliny do ovzduší. Únik by neměl přesáhnout  $50 \text{ mg/m}_n^{-3}$ . Naopak při vyšších teplotách  $\text{NH}_3$  oxiduje na  $\text{NO}$ . Důležitá je i velikost kapek. Pokud jsou kapky velké, reakce probíhá pod optimální teplotou a naopak. Dále pak ovlivňují teplotní okno plyny  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ , které ho posunují vlevo a  $\text{SO}_2$  naopak vpravo. Investiční náklady jsou o mnoho nižší než náklady na SCR – přibližně 5x. Jasnou nevýhodou oproti metodě SCR je nižší účinnost, literatura uvádí mezi 40-60%, ale v praxi se často dostáváme i na nižší hodnoty.



Obr. 3 Teplotní okno technologie SNCR

Jak již bylo napsáno, redukční činidlo bývá čpavek, čpavková voda nebo močovina. Nevýhodou čpavku je, že je to zdraví škodlivá látka, která musí být skladována v tlakových nádržích a dodržována bezpečnostní opatření. Při úniku čpavku je okolí obtěžováno čpavkem a v kotli můžou vznikat nánosy ze sloučenin čpavku a síry. Pro elektrárny, teplárny a výtopy poblíž měst je jeho použití omezeno z důvodu

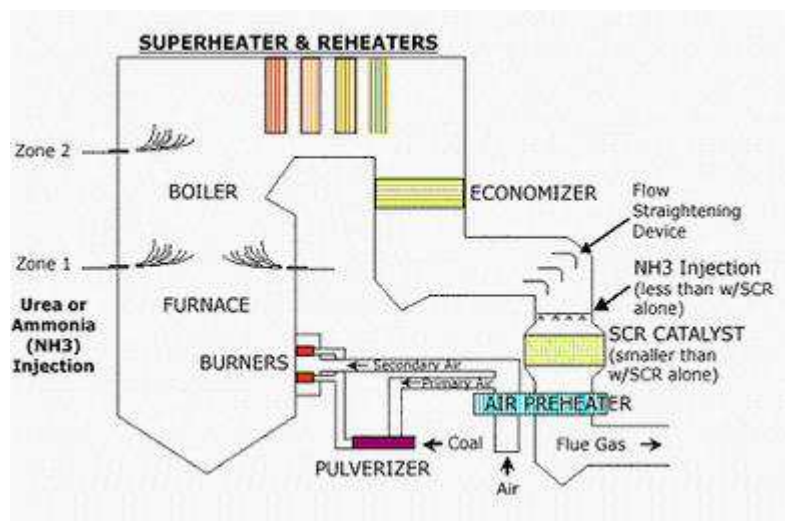
požadavků na ochranu a zdraví lidí. Obdobné je to i pro čpavkovou vodu. Z těchto důvodů má jisté výhody močovina. Nezapáchá, je rozpustná ve vodě a může se přechovávat v beztlakých nádržích. Nevýhodou bývá koroze, která se u čpavkové vody a čpavku nevyskytuje. Pro optimalizaci teplotního okénka můžou být do činidla přidány aditiva např. methanol, polyalkoholy nebo amonné sloučeniny.



Obr. 4 Schéma reakcí různých aditiv s NO

### 3.4 KOMBINACE METOD SNCR/SCR

Ve své podstatě se jedná o metodu SNCR doplněnou o katalyzátor. Redukční činidlo se vstříkuje naprosto stejně jako u samotné SNCR metody, ale s větším přebytkem čpavku. Vzniká čpavkový skluz, který je odváděn spaliny na SCR reaktor, kde dochází k další redukci  $\text{NO}_x$  při teplotě  $350\text{--}400^\circ\text{C}$ . SCR reaktor je umístěn za ekonomizérem a je menší než při samotné metodě SCR.



Obr. 5 Schéma technologie SNCR/SCR

### 3.5 KOMBINOVANÉ PROCESY ODSIŘOVÁNÍ A DENITRIFIKACE SPALIN

Tato metoda se vyznačuje sloučením odsiřování a denitrifikace spalín do jednoho nebo dvou kroků. Znamená to, že v některých případech můžeme použít pro oba procesy jeden katalyzátor. Mezi nejznámější metody patří SNOx, Desonox, Walther, mokré metody a radiační metoda.

## **4. POPIS SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ A NÁVRH VHODNÉHO ZPŮSOBU DENITRIFIKACE**

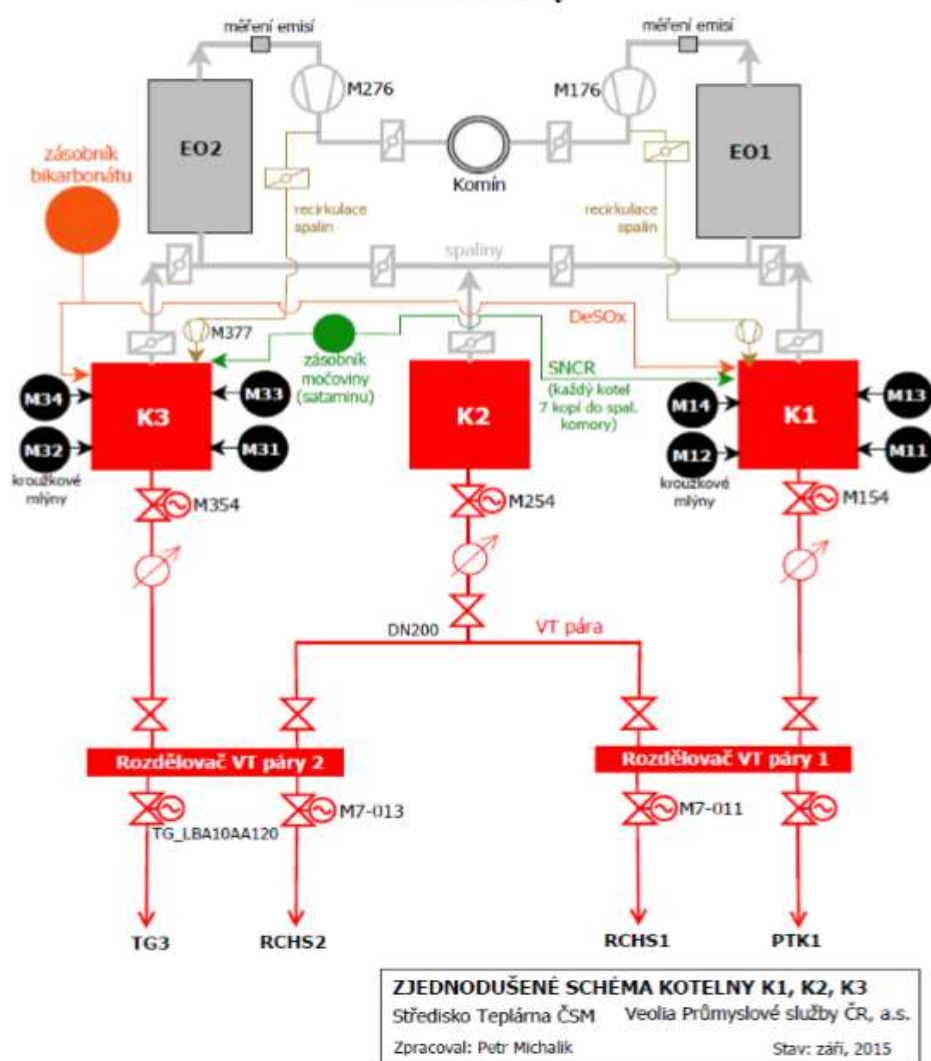
### **4.1 POPIS KOTLŮ K1 A K3**

Jedná se o granulační typ kotlů s přirozenou cirkulací ve výparníku. Kotle jsou postaveny v třítahovém provedení. Na každém kotli je celkem 8 práškových hořáků, po 4 na každé boční stěně kotle. Hořáky jsou v provedení vířivém. Vždy dva hořáky na každé boční stěně jsou vybaveny integrovaným zapalovacím hořákem, který jako palivo používá degazační plyn. Uhelné palivo je připravováno ve čtyřech kroužkových mlýnech s přímým foukáním prášku do spalovací komory. Sušení paliva je pomocí horkého vzduchu s částečnou recirkulací spalin. Na kotli je instalováno jedno pásmo dohořivacího vzduchu zaústěné na bočních stěnách. Spalovací komora kotle je provedena z opraporkovaných trubek, které jsou z vnější strany utěsněny polotěžkou zazdívkou. Za zazdívkou je na kotli pevné kotlářské oplechování. Za obratovou komorou kotle, která je v tomto případě tvořena výsypkou, je ve druhém tahu umístěn visutý výstupní přehřívák páry. Za tímto přehřívákem je výparníková mříž, která je tvořena rozvolněním zadní stěny druhého tahu kotle. V prostoru mezitahu je umístěn vstupní svazek přehříváku páry. Za svazkem je horní obratová komora mezi druhým a třetím tahem kotle. Ve třetím tahu kotle jsou umístěny dva svazky ohříváku vody a dva bloky trubkového ohříváku vzduchu ve vystřídaném provedení. Za výstupním blokem ohříváku vzduchu jsou výstupní spalinovody kotle, na které navazuje elektrofiltr s kouřovým ventilátorem a spalinovodem do komína.

### **4.2 TECHNICKÁ DATA KOTLŮ K1 A K3**

Jmenovitý parní výkon:	50t/h
Jmenovitý tepelný výkon:	37,7MWt
Jmenovitý tlak páry:	3,7MPa
Jmenovitá teplota páry:	445°C
Teplota napájecí vody:	145°C

### Schéma kotelny



Obr. 6 Schéma kotelny Teplárny ČSM



## 5. PRIMÁRNÍ OPATŘENÍ

### 5.1 PRÁŠKOVÉ HOŘÁKY

Rekonstrukce zahrnuje kompletní dodávku 4 ks. nových práškových a 4 ks. nových kombinovaných hořáků (práškové + plynové hořáky). Hořáky jsou vířivé, projektovány jsou jako nízkoemisní. Primární část je zavířená a obsahuje i tělíska pro vytvoření vírů kolmých na osu hořáku. Sekundární část je zavířena klasickým způsobem. Úhel zavíření je cca 40° vůči ose hořáku. Zaústění každého práškovodu do kotle je řešeno jedním hořákovým ústím. Toto ústí obsahuje část uhelnou a část vzduchovou. Vnitřní uhelná část obsahuje koncové koleno práškovodu s nárazovou deskou, část pro zrovnoměnění prášku po průřezu práškovodu a část ústovou. Celková koncepce je zvolena s přihlédnutím k požadavku snížení emisí NO<sub>x</sub> primární metodou na garantovanou hodnotu. Hořáky jsou umístěny na bočních stěnách kotle do stávajících výhybů trubek výparníku. Hořáky jsou na výškové úrovni +13,84 m a +15,44 m.

Součástí nových hořáků je i dodávka 4 ks. hlídače plamene uhelného prášku, splňující požadavky normy EN 12952 – 9.



Obr. 7 Nízkoemisní hořák



Obr. 8 Pohled do hořáku

## 5.2 PLYNOVÉ ZAPALOVACÍ A STABILIZAČNÍ HOŘÁKY

Je provedena úprava stávajících zapalovacích a stabilizačních hořáků spalujících degazační plyn. Hořáky jsou integrované do práškových turbulentních hořáků a vzduchovou část tvoří vnitřní povrch potrubí prášku v práškovém hořáku. Na každém kotli jsou instalovány 4 kusy zapalovacích a stabilizačních hořáků do 4 z celkově 8 kusů práškových hořáků.

## 5.3 POTRUBÍ UHELNÉHO PRÁŠKU

Je dodáno 8 ks. nových práškovodů od napojení na původní kruhovou část práškovodu (kóta cca +7,5 m a cca +13,3 m) po nové práškové a kombinované hořáky. 4 ks. práškovodů jsou pro spodní pásmo hořáků, 4 ks. práškovodů jsou pro horní pásmo hořáků. Nové práškovody jsou dodány z jednotlivých rovných úseků a kolen. Oproti stávajícímu provedení jsou nové práškovody kruhového průřezu. Potrubí je vyloženo čedičem. Nové práškovody jsou podepřeny. Konce potrubí jsou přírubové pro smontování pomocí šroubových spojů.

## 5.4 POTRUBÍ HORKÉHO VZDUCHU

Z důvodu dodávky nových práškových a kombinovaných hořáků došlo k úpravě příslušné části potrubí horkého vzduchu. Byla instalována část potrubí horkého vzduchu včetně 4 ks. dilatace. Potrubí jena stavbě jesmontováno pomocí šroubových spojů.

Současně bylo instalováno 6 ks. nových kolen potrubí horkého vzduchu do mlýna. Každé koleno potrubí má nárazovou hranu z materiálu HARDOX.

## 5.5 RECIRKULACE SPALIN

Pro snížení tvorby  $\text{NO}_x$  je část horkého vzduchu, přiváděného do mlýnů, nahrazena recirkulovanými spaliny. Spaliny jsou odebírány za spalinovým ventilátorem před vstupem do komína a nasávány recirkulačním ventilátorem RVK 800 s frekvenčním měničem přes elektricky ovládanou klapku v sání ventilátoru. Ventilátory jsou umístěny za zadní stěnou kotlů na kótě +0,00 m. Ventilátory recirkulovaných spalin, které jsou oboustranně sací s výtlaky umístěnými kolmo vzhůru, včetně el. motoru, spojky s chladícím kotoučem a klapky. Vše je umístěno na společném rámu, včetně základových šroubů. Klapka je vybavena vysílačem polohy, a je ji tudíž možné postupně ovládat (od uzavřené polohy při startu recirkulačního ventilátoru až po plné otevření po prohřátí potrubí recirkulovaných spalin na provozní teplotu). Ventilátor spalin je možné ovládat i místně z deblokační skříně. Ventilátor po njetí trvale běží na svůj nominální výkon. Množství spalin do jednotlivých mlýnů je regulováno klapkami. Motor recirkulačního ventilátoru je vybaven tepelnou ochranou (PTC ve vinutí). Do řídicího systému je zavedena hodnota amperického zatížení motoru a binární signál od vysoké teploty vinutí. Recirkulační ventilátor je dále vybaven jednokanálovým monitorem vibrací, který poskytuje řídicímu systému informaci o aktuální hodnotě absolutních vibrací, binární signál signalizující zvýšené vibrace recirkulačního ventilátoru a dosažení havarijní úrovně vibrací. V případě poruchy jednotky nebo čidla monitorovací jednotka vibrací zasílá signál o poruše. Na výtlaku ventilátoru je instalováno měření tlaku recirkulovaných spalin.

### **Základní parametry recirkulačního ventilátoru:**

Průtok spalin:	max. = 2,5Nm <sup>3</sup> /s
Teplota spalin:	max. 250°C
Podtlak v místě odběru:	-2,0kPa
Statický tlak na výstupu z ventilátoru:	2,0kPa
Napěťová soustava:	IT
Napětí / frekvence:	290/500V / 50Hz
Regulace:	servopohon
El. motor:	45kW
Otáčky:	2965 1/min
Umístění:	nový základ, vně kotelny

Po instalování primárních opatření na kotli K1 a K3, je splněn limit pro NO<sub>x</sub> 480 mg/m<sub>n</sub><sup>3</sup>.

## 6. HMOTOVÉ BILANCE PALIVA, SPALIN A PROVOZNÍCH HMOT PRO DENITRIFIKACI

### 6.1 GARANČNÍ PALIVO

#### Hlavní palivo: Černé uhlí – hruboprach

Výhřevnost paliva $Q_i^r$ :	24 ÷ 26 MJ/kg
Obsah popela v surovém palivu $A^r$ :	12 ÷ 25 %
Obsah vody v surovém palivu $W_t^r$ :	4,6 ÷ 11 %
Obsah síry v surovém palivu $S_t^r$ :	max. 0,7 %
Obsah prchavé hořlaviny $V^{daf}$ :	15 ÷ 26 %

#### Stabilizační palivo: Plyn z důlní degazace

Výhřevnost paliva $Q_i^r$ :	17,5 ÷ 19 MJ/Nm <sup>3</sup>
Teplota:	10 ÷ 30 °C
Tlak:	18 ÷ 50 kPa
Obsah CO <sub>2</sub> :	5,0 ÷ 7,0 %
Obsah O <sub>2</sub> :	1,5 ÷ 4,0 %
Obsah CH <sub>4</sub> :	40,0 ÷ 55,0 %
Obsah N <sub>2</sub> :	38,0 ÷ 48,0 %
Obsah H <sub>2</sub> O:	1,0 ÷ 2,6 %

## 6.2 HMOTOVÁ BILANCE PALIVA K1

Uhlí		
Výhřevnost	$\text{kJ.kg}^{-1}$	25,076
Popel $A^r$	%	20,44
Voda $W^r$	%	6,30
Uhlík $C^r$	%	64,09
Vodík $H^r$	%	3,47
Síra $S^r$	%	0,36
Dusík $N^r$	%	1,07
Kyslík $O^r$	%	4,27

tab. 3 Uhlí pro K1

$$W_t^r + A^r + DAF^r = 1$$

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r + W^r + A^r = 1 \quad (7)$$

$$0,6409 + 0,0347 + 0,0036 + 0,0107 + 0,0427 + 0,0630 + 0,2044 = 1$$

Máme podíl jednotlivých složek paliva v surovém stavu a můžeme vypočítat podíly C, H<sub>2</sub>, S, O<sub>2</sub>, a N v hořlavíně.

$$C^{daf} = \frac{C^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,6409}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,875 \quad (8)$$

$$C^{daf} = 0,875 \cdot 100 = 87,5 \%$$

$$H^{daf} = \frac{H^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0347}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,048 \quad (9)$$

$$H^{daf} = 0,048 \cdot 100 = 4,8 \%$$

$$N^{daf} = \frac{N^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0107}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,014 \quad (10)$$

$$N^{daf} = 0,014 \cdot 100 = 1,4 \%$$

$$O^{daf} = \frac{O^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0427}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,058 \quad (11)$$

$$O^{daf} = 0,058 \cdot 100 = 5,8 \%$$

$$S^{daf} = \frac{S^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0036}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,005 \quad (12)$$

$$S^{daf} = 0,005 \cdot 100 = 0,5 \%$$

$$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 1$$

$$0,875 + 0,048 + 0,014 + 0,058 + 0,005 = 1$$

### 6.3 BILANCE SPALIN K1

#### Výpočet spalovacího vzduchu a množství spalin (objemově)

$$\begin{aligned}V_{O_2,t} &= \frac{22,39}{12,011} \cdot C^r + \frac{22,39}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,39}{4,032} \cdot H_2^r - \frac{22,39}{32,00} \cdot O_2^r \\V_{O_2,t} &= \frac{22,39}{12,011} \cdot 0,6409 + \frac{22,39}{32,066} \cdot 0,0036 + \frac{22,39}{4,032} \cdot 0,0347 - \frac{22,39}{32,00} \cdot 0,0427 \\V_{O_2,t} &= 1,36 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (13)$$

#### Teoretické množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{vz,t}^s &= \frac{V_{O_2,t}}{0,21} \\V_{vz,t}^s &= \frac{1,36}{0,21} \\V_{vz,t}^s &= 6,476 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (14)$$

#### Skutečné množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{vz,sk}^s &= V_{vz,t}^s \cdot n \\V_{vz,sk}^s &= 6,476 \cdot 1,448 \\V_{vz,sk}^s &= 9,378 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (15)$$

#### Teoretické množství suchých spalin

$$\begin{aligned}V_{sp,t}^s &= \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r + \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,40}{28,016} \cdot N_2^r + 0,7809 \cdot V_{vz,t}^s \\V_{sp,t}^s &= \frac{22,26}{12,011} \cdot 0,6409 + \frac{21,89}{32,066} \cdot 0,0036 + \frac{22,40}{28,016} \cdot 0,0107 + 0,7809 \cdot 6,476 \\V_{sp,t}^s &= 6,315 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (16)$$

#### Skutečné množství suchých spalin po spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{sp,sk}^s &= V_{sp,t}^s + (n - 1) \cdot V_{vz,t}^s \\V_{sp,sk}^s &= 6,315 + (1,448 - 1) \cdot 6,476 \\V_{sp,sk}^s &= 9,216 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (17)$$

### Skutečné množství spalin po spálení 1kg paliva

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + \left[ \frac{44,8}{4,032} \cdot H_2^r + \frac{44,8}{36} \cdot W_t^r + (v - 1) \cdot V_{vz,sk}^s \right]$$
$$V_{sp,sk}^v = 9,216 + \left[ \frac{44,8}{4} \cdot 0,0347 + \frac{44,8}{36} \cdot 0,0630 + (1,019 - 1) \cdot 9,378 \right]$$
$$V_{sp,sk}^v = 9,861 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p \quad (18)$$

### 6.3.1 Složky stechiometrických objemů pro dokonalé spalování

#### Složení suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vz,co_2}^t = 0,0003 \cdot V_{vz,t}^s = 0,0003 \cdot 6,476 = 0,0019 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (19)$$

$$V_{vz,N_2}^t = 0,7809 \cdot V_{vz,t}^s = 0,7809 \cdot 6,476 = 5,0571 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (20)$$

#### Stechiometrické objemy jednotlivých složek v suchých spalinách pro dokonalé spalování

$$V_{sp,co_2}^t = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r = \frac{22,26}{12,011} \cdot 0,6409 = 1,187 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (21)$$

$$V_{sp,so_2}^t = \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r = \frac{21,89}{32,066} \cdot 0,0036 = 0,0024 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (22)$$

$$V_{sp,N_2}^t = \frac{22,4}{28,016} \cdot N^r = \frac{22,4}{28,016} \cdot 0,0107 = 0,0085 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (23)$$

#### Dále pro nedokonalé spalování platí

$$V_{sco} = \frac{22,41}{12,011} \cdot C^r = \frac{22,41}{12,011} \cdot 0,6409 = 1,196 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (24)$$

$$V_{O_2(C)} = \frac{22,39}{12,011} \cdot C^r = \frac{22,39}{12,011} \cdot 0,6409 = 1,195 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (25)$$



## 6.4 VÝPOČET SPOTŘEBY PALIVA K1

Jmenovitý tepelný výkon kotle =  $37,7\text{MW}_t = 37700\text{kW}_t$

Výhřevnost paliva =  $25076\text{kJ/kg}$

Účinnost kotle =  $88\%$

$$\dot{m}_{\text{pal j}} = \frac{\dot{Q}_{\text{vyr}}}{Q_{\text{in}} \cdot \eta} = \frac{37700}{25076 \cdot 0,88} = 1,71 [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\dot{m}_{\text{pal j}} = 1,71 \cdot 3,6 = 6,15 [\text{t} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (26)$$

## 6.5 HMOTOVÉ BILANCE PROVOZNÍCH HMOT PRO DENITRIFIKACI K1

Pro zjištění množství vstřikované močoviny, musíme znát emisní limit. Ten je pro daný zdroj po sekundárním opatření  $280 \text{ mg/m}_n^3$  a emisní limit po primární opatření je  $480 \text{ mg/m}_n^3$ . Dále potřebujeme znát molární hmotnosti oxidů dusíku, močoviny a její hustotu, které najdeme v tabulkách. Výpočtem zjistíme, kolik vznikne spalin, za 1h. Z hmotové bilance spalin víme, kolik spalin vznikne spálením 1 kg uhlí, které vynásobíme množstvím spotřebovaného uhlí za 1 s. Výsledek ještě vynásobíme 3600 s. Pro správný průběh reakce je důležitý správný stechiometrický přebytek aditiva, který je stanoven na 2,8. Finální spotřebu ovlivňuje ještě hustota močoviny, v našem případě 40 %.

$$\text{NO}_{x,\text{př}} = 480 \text{ mg/m}_n^3$$

$$\text{NO}_{x,\text{po}} = 280 \text{ mg/m}_n^3$$

$$\text{Molární hmotnost NO} = 30,006 \text{ g/mol}$$

$$\text{Molární hmotnost NO}_2 = 46,006 \text{ g/mol}$$

$$\text{Molární hmotnost CO(NH}_2)_2 = 60,06 \text{ g/mol}$$

Množství vzniklých spalin za 1h:

$$V_{\text{sp,sk}}^v \cdot \dot{m}_{\text{pal j}} \cdot 3600 = 9,861 \cdot 1,71 \cdot 3600 = 60649,03 \text{ m}_n^3/\text{h} \quad (27)$$

Stechiometrický přebytek aditiva  $\alpha = 2,8$

Koncentrace roztoku močoviny  $c = 40\%$

Hustota vodného roztoku močoviny  $\rho_r = 1122 \text{ kg/m}^3$

### Potřebné množství redukováných NO<sub>x</sub>

$$\Delta \text{NO}_x = \text{NO}_{x,\text{př}} - \text{NO}_{x,\text{po}}$$

$$\Delta \text{NO}_x = 480 - 280$$

$$\Delta \text{NO}_x = 200 \text{ mg} \cdot \text{m}_n^{-3} \quad (28)$$

### Přepočet skutečného množství redukováných NO

$$\Delta \text{NO}_{\text{sk}} = \Delta \text{NO}_x \cdot \frac{M_{\text{NO}}}{M_{\text{NO}_2}}$$

$$\Delta \text{NO}_{\text{sk}} = 200 \cdot \frac{30,006}{46,006}$$

$$\Delta \text{NO}_{\text{sk}} = 130,45 \text{ mg} \cdot \text{m}_n^{-3} \quad (29)$$

### Stechiometrická spotřeba roztoku močoviny

$$Q_m = \frac{\frac{\Delta \text{NO}_{\text{sk}}}{10^6} \cdot M_{\text{CO}(\text{NH}_2)_2}}{M_{2\text{NO}}} \cdot V_{\text{sp},s}$$

$$Q_m = \frac{\frac{130,45}{10^6} \cdot 60,06}{60,012} \cdot 60649,03$$

$$Q_m = 7,92 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (30)$$

### Výpočet spotřeby roztoku močoviny se stechiometrickým přebytkem

$$Q_{m,\text{sk}} = Q_m \cdot \alpha$$

$$Q_{m,\text{sk}} = 7,92 \cdot 2,8$$

$$Q_{m,\text{sk}} = 22,17 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (31)$$

### Výpočet skutečné spotřeby močoviny při koncentraci 40%

$$Q_{r,\text{sk}} = \frac{Q_{m,\text{sk}}}{c} \cdot 100$$

$$Q_{r,\text{sk}} = \frac{22,17}{40} \cdot 100 = 55,42 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\frac{Q_{r,\text{sk}}}{\rho_r} \cdot 1000 = \frac{55,42}{1122} \cdot 1000 = 49,40 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} \quad (32)$$

Výpočet se shoduje se skutečnou spotřebou močoviny při jmenovitém výkonu pro redukcí NO metodou SNCR na kotli K1.

## 6.6 HMOTOVÉ BILANCE PALIVA K3

Uhlí		
Výhřevnost	$\text{kJ.kg}^{-1}$	25,773
Popel $A^r$	%	18,61
Voda $W^r$	%	6,70
Uhlík $C^r$	%	65,27
Vodík $H^r$	%	3,50
Síra $S^r$	%	0,37
Dusík $N^r$	%	1,10
Kyslík $O^r$	%	4,44

tab. 4 Uhlí pro K3

$$W_t^r + A^r + DAF^r = 1$$

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r + W^r + A^r = 1 \quad (33)$$

$$0,6527 + 0,0350 + 0,0037 + 0,0110 + 0,0444 + 0,0670 + 0,1861 = 1$$

Známe podíl jednotlivých složek paliva v surovém stavu a můžeme vypočítat podíly C, H<sub>2</sub>, S, O<sub>2</sub>, a N v hořlavině.

$$C^{daf} = \frac{C^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,6527}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,872 \quad (34)$$

$$C^r = 0,872 \cdot 100 = 87,2 \%$$

$$H^{daf} = \frac{H^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0350}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,048 \quad (35)$$

$$H^r = 0,048 \cdot 100 = 4,8 \%$$

$$N^{daf} = \frac{N^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0110}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,015 \quad (36)$$

$$N^r = 0,015 \cdot 100 = 1,5 \%$$

$$O^{daf} = \frac{O^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0444}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,060 \quad (37)$$

$$O^r = 0,060 \cdot 100 = 6 \%$$

$$S^{daf} = \frac{S^r}{(1 - W^r - A^r)} = \frac{0,0037}{(1 - 0,0630 - 0,2044)} = 0,005 \quad (38)$$

$$S^r = 0,005 \cdot 100 = 0,5 \%$$

$$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 1$$

$$0,872 + 0,048 + 0,015 + 0,060 + 0,005 = 1 \quad (39)$$

## 6.7 BILANCE SPALIN K3

### Výpočet spalovacího vzduchu a množství spalin (objemově)

$$\begin{aligned}V_{O_2,t} &= \frac{22,39}{12,011} \cdot C^r + \frac{22,39}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,39}{4,032} \cdot H_2^r - \frac{22,39}{32,00} \cdot O_2^r \\V_{O_2,t} &= \frac{22,39}{12,011} \cdot 0,6527 + \frac{22,39}{32,066} \cdot 0,0037 + \frac{22,39}{4,032} \cdot 0,0350 - \frac{22,39}{32,00} \cdot 0,0444 \\V_{O_2,t} &= 1,383 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (40)$$

### Teoretické množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{vz,t}^s &= \frac{V_{O_2,t}}{0,21} \\V_{vz,t}^s &= \frac{1,383}{0,21} \\V_{vz,t}^s &= 6,583 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (41)$$

### Skutečné množství suchého vzduchu pro spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{vz,sk}^s &= V_{vz,t}^s \cdot n \\V_{vz,sk}^s &= 6,583 \cdot 1,501 \\V_{vz,sk}^s &= 9,882 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (42)$$

### Teoretické množství suchých spalin

$$\begin{aligned}V_{sp,t}^s &= \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r + \frac{22,89}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,4}{28,016} \cdot N_2^r + 0,7809 \cdot V_{vz,t}^s \\V_{sp,t}^s &= \frac{22,4}{12} \cdot 0,6527 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,0037 + \frac{22,4}{28} \cdot 0,0110 + 0,79 \cdot 6,583 \\V_{sp,t}^s &= 6,422 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (43)$$

### Skutečné množství suchých spalin po spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{sp,sk}^s &= V_{sp,t}^s + (n - 1) \cdot V_{vz,t}^s \\V_{sp,sk}^s &= 6,422 + (1,501 - 1) \cdot 6,583 \\V_{sp,sk}^s &= 9,721 \text{ m}_N^3/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (44)$$

### Skutečné množství spalin po spálení 1kg paliva

$$\begin{aligned}V_{sp,sk}^v &= V_{sp,sk}^s + \left[ \frac{44,8}{4} \cdot H_2^r + \frac{44,8}{36} \cdot W_t^r + (v - 1) \cdot V_{vz,sk}^s \right] \\V_{sp,sk}^v &= 9,721 + \left[ \frac{44,8}{4} \cdot 0,0350 + \frac{44,8}{36} \cdot 0,0670 + (1,0205 - 1) \cdot 9,882 \right] \\V_{sp,sk}^v &= 10,399 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg}_p\end{aligned}\quad (45)$$

### 6.7.1 Složky stechiometrických objemů pro dokonalé spalování

#### Složení suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vz,co_2}^t = 0,0003 \cdot V_{vz,t}^s = 0,0003 \cdot 6,583 = 0,00197 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (46)$$

$$V_{vz,N_2}^t = 0,7809 \cdot V_{vz,t}^s = 0,7809 \cdot 6,583 = 5,1413 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (47)$$

#### Stechiometrické objemy jednotlivých složek v suchých spalinách pro dokonalé spalování

$$V_{sp,co_2}^t = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r = \frac{22,26}{12,011} \cdot 0,6527 = 1,209 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (48)$$

$$V_{sp,so_2}^t = \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r = \frac{21,89}{32,066} \cdot 0,0037 = 0,0025 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (49)$$

$$V_{sp,N_2}^t = \frac{22,4}{28,016} \cdot N^r = \frac{22,4}{28,016} \cdot 0,0107 = 0,0085 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (50)$$

#### Dále pro nedokonalé spalování platí

$$V_{sco} = \frac{22,41}{12,011} \cdot C^r = \frac{22,41}{12,011} \cdot 0,6527 = 1,218 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (51)$$

$$V_{O_2(c)} = \frac{22,39}{12,011} \cdot C^r = \frac{22,39}{12,011} \cdot 0,6527 = 1,217 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (52)$$

## 6.8 VÝPOČET SPOTŘEBY PALIVA K3

Jmenovitý tepelný výkon kotle =  $37,7\text{MW}_t = 37700\text{kW}_t$

Výhřevnost paliva =  $25773\text{kJ/kg}$

Účinnost kotle =  $88\%$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{pal j}} &= \frac{\dot{Q}_{\text{vyr}}}{Q_{\text{in}} \cdot \eta} = \frac{37700}{25773 \cdot 0,88} = 1,66 [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \\ \dot{m}_{\text{pal j}} &= 1,66 \cdot 3,6 = 5,98 [\text{t} \cdot \text{h}^{-1}]\end{aligned}\quad (53)$$

## 6.9 HMOTOVÉ BILANCE PROVOZNÍCH HMOT PRO DENITRIFIKACI K3

$\text{NO}_{\text{x,př}} = 480 \text{ mg/m}_n^3$

$\text{NO}_{\text{x,po}} = 280 \text{ mg/m}_n^3$

Molární hmotnost  $\text{NO} = 30,006\text{g/mol}$

Molární hmotnost  $\text{NO}_2 = 46,006 \text{ g/mol}$

Molární hmotnost  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = 60,06 \text{ g/mol}$

Množství vzniklých spalin za 1h:

$$V_{\text{sp,sk}}^v \cdot \dot{m}_{\text{pal j}} \cdot 3600 = 10,398 \cdot 1,66 \cdot 3600 = 62225,67 \text{ m}_n^3/\text{h} \quad (54)$$

Stechiometrický přebytek aditiva  $\alpha = 2,8$

Koncentrace roztoku močoviny  $c = 40 \%$

Hustota vodného roztoku močoviny  $\rho_r = 1122 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$

### Potřebné množství redukovaných $\text{NO}_x$

$$\Delta\text{NO}_x = \text{NO}_{\text{x,př}} - \text{NO}_{\text{x,po}}$$

$$\Delta\text{NO}_x = 480 - 280$$

$$\Delta\text{NO}_x = 200 \text{ mg} \cdot \text{m}_n^{-3} \quad (55)$$

### Přepočet skutečného množství redukovaných $\text{NO}$

$$\Delta\text{NO}_{\text{sk}} = \Delta\text{NO}_x \cdot \frac{M_{\text{NO}}}{M_{\text{NO}_2}}$$

$$\Delta\text{NO}_{\text{sk}} = 200 \cdot \frac{30,006}{46,006}$$

$$\Delta\text{NO}_{\text{sk}} = 130,45 \text{ mg} \cdot \text{m}_n^{-3} \quad (56)$$

### **Stechiometrická spotřeba roztoku močoviny**

$$Q_m = \frac{\frac{\Delta NO_{sk}}{10^6} \cdot M_{CO(NH_2)_2}}{M_{2NO}} \cdot V_{sp,s}$$
$$Q_m = \frac{\frac{130,45}{10^6} \cdot 60,06}{60,012} \cdot 62225,67$$
$$Q_m = 8,12 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (57)$$

### **Výpočet spotřeby roztoku močoviny se stechiometrickým přebytkem**

$$Q_{m,sk} = Q_m \cdot \alpha$$
$$Q_{m,sk} = 8,12 \cdot 2,8$$
$$Q_{m,sk} = 22,74 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (58)$$

### **Výpočet skutečné spotřeby močoviny při koncentraci 40 %**

$$Q_{r,sk} = \frac{Q_{m,sk}}{c} \cdot 100$$
$$Q_{r,sk} = \frac{22,74}{40} \cdot 100 = 56,86 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$
$$\frac{Q_{r,sk}}{\rho_r} \cdot 1000 = \frac{56,86}{1122} \cdot 1000 = 50,68 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} \quad (59)$$

Výpočet se shoduje se skutečnou spotřebou močoviny při jmenovitém výkonu pro redukci NO metodou SNCR na kotli K3.

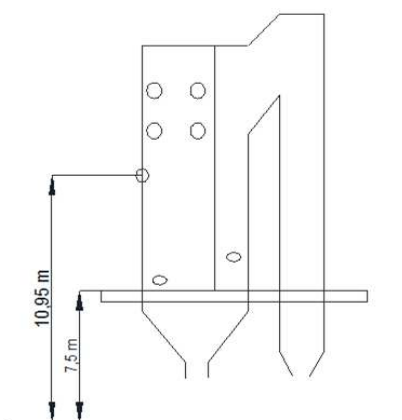
## 7. VYHODNOCENÍ TEPLOTNÍCH A KONCENTRAČNÍCH MĚŘENÍ VE SPALOVACÍ KOMOŘE

Označení zkoušky	Čas měření	Průměrný parní výkon
Zkouška č.1	9:00 až 11:50	45 t/h Se stabilizací plynem
Zkouška č.2	13:24 až 14:25	45 t/h Bez stabilizace plynem
Zkouška č.3	15:18 až 16:45	35 t/h Se stabilizací plynem
Zkouška č. 4	17:50 až 18:40	25 t/h Se stabilizací plynem

tab. 5 Seznam provedených zkoušek dne 18.12.2014

### 7.1 METODIKA MĚŘENÍ JEDNOTLIVÝCH VELIČIN, VÝBĚR MĚŘICÍCH MÍST

Teplotní a koncentrační pole CO a O<sub>2</sub> ve spalínách bylo stanoveno ve dvou měřicích rovinách označených jako výšková úroveň +7,500 m a +10,95 m (místa jsou označeny elipsami obr. 10) a při různých výkonech. Při nejvyšším výkonu 45 t/h byly zkoušky prováděny se stabilizací i bez stabilizace plynem.

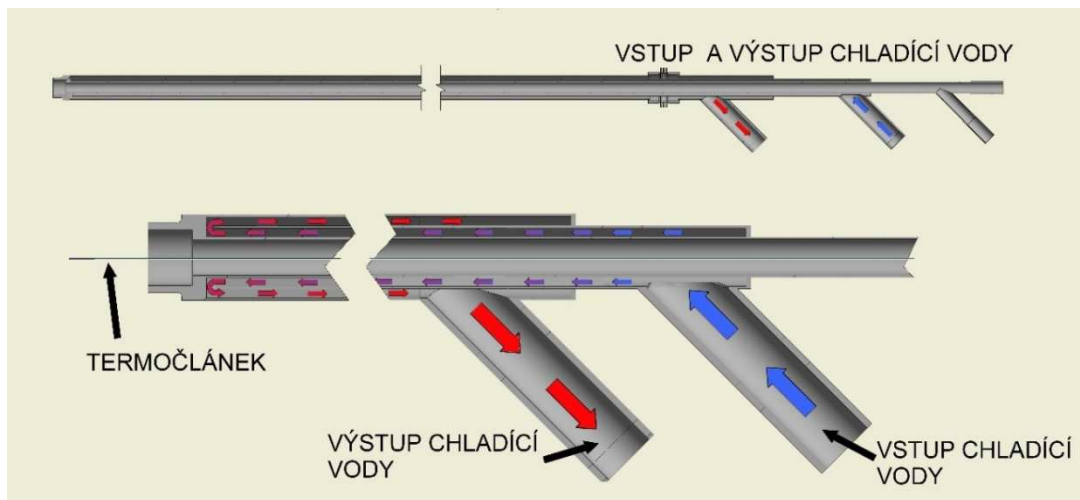


Obr. 9 Znázornění měření v úrovni 7,5 m a 10,95 m

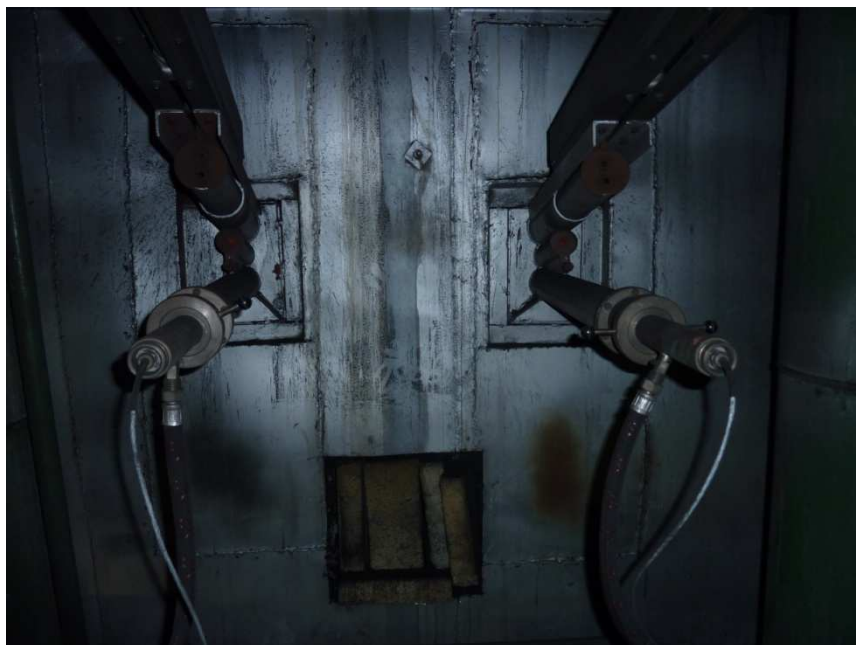


## 7.2 MĚŘENÍ TEPLOTY VE SPALOVACÍ KOMOŘE A VE II. TAHU KOTLE

Pro měření teplot ve spalovací komoře kotle byl použit termočlánek „K“. Průměr termočláňku je 3 mm a délka 5000 mm. Tento termočlánek byl vsunut do vodou chlazené sondy s přesahem cca 400 mm. V každém měřicím bodě byla teplota spalin monitorována a ukládána do datalogeru s vzorkovací frekvencí 1 s po dobu 1 minuty. Z takto naměřených dat byly vyhodnoceny průměrné, maximální a minimální hodnoty při zasouvání vodou chlazené sondy.



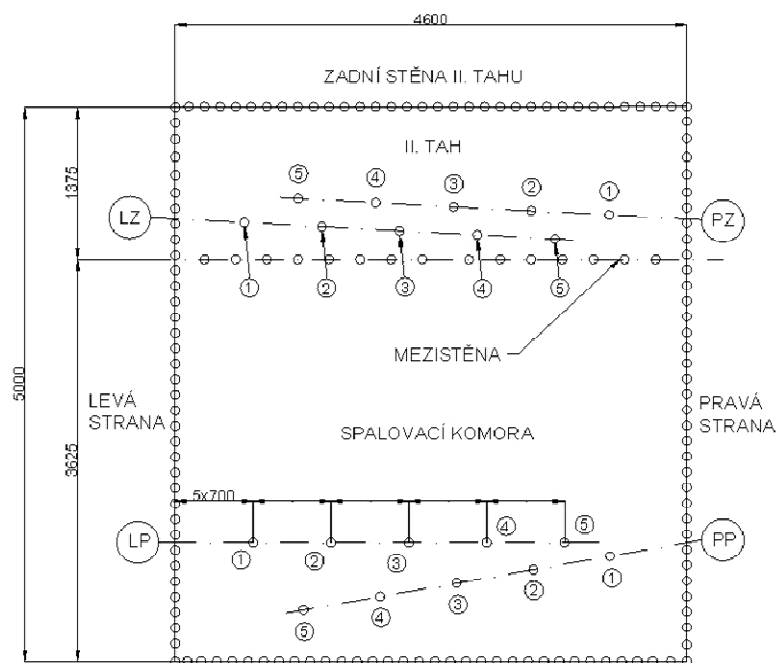
Obr. 10 Termočlánek typu K



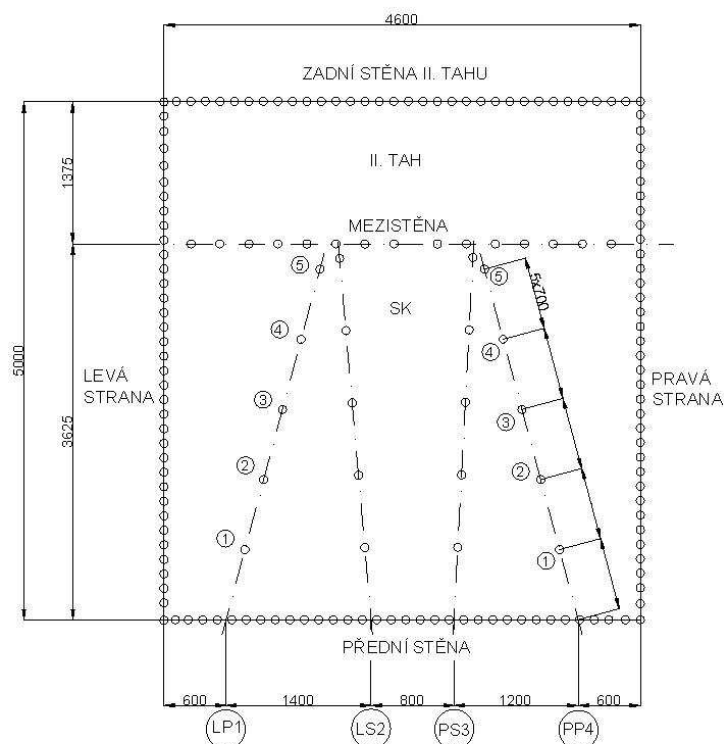
Obr. 11 Původní provozní bezkontaktní měření teplot na kotli K1

### 7.3 MĚŘENÍ KONCENTRACE CO A O<sub>2</sub>

Měření koncentrace CO a O<sub>2</sub> ve druhém tahu kotle bylo prováděno ve stejných bodech měření jako měření teploty. Do příslušného odběrového bodu ve spalínovém traktu kotle byla vždy umístěna chlazená odběrová sonda, k níž bylo připojeno vedení vzorku (postupný odběr v každém jednotlivém bodě). Pomocí této sondy a vzduchotěsného ventilátoru byl odsáván vzorek přes odlučovač vlhkosti do odběrových vaků rychlostí cca 10 l.min<sup>-1</sup>. V odebraném vzorku byla, po odloučení tuhých nečistot, stanovena koncentrace O<sub>2</sub> pomocí analyzátoru SERVOMEX 570A. Koncentrace CO byly měřeny měřicím přístrojem fy. SIEMENS.



Obr. 12 Měřicí body na úrovni 7,5 m



Obr. 13 Měřící body na rovní 10,95 m

## 7.4 ZKOUŠKA Č.1 VÝKON KOTLE 45t/h PÁRY SE STABILIZACÍ PLYNEM

### 7.4.1 Měření v úrovni + 7,5 m

Při této zkoušce na úrovni +7,5 m se jako teplotně nejvhodnější bod jeví měřený bod č. 1 v pravém předním otvoru, případně bod č. 1 v pravém zadním otvoru. Na hranici teplotního okna je ještě bod č.5 v levém předním otvoru.

### 7.4.2 Měření v úrovni + 10,95 m

Ve všech měření se teplota nedostala pod 1050 °C (nejnižší teplota byla mezi 1161 ÷ 1154).

## **7.5 ZKOUŠKA Č.2 VÝKON KOTLE 45 t/h PÁRY BEZ STABILIZACE PLYNEM**

### **7.5.1 Měření v úrovni + 7,5 m**

Při této zkoušce na úrovni +7,5 m se jako teplotně nejvhodnější bod jeví měřený bod č. 1 v pravém předním otvoru, případně bod č. 1 v levém předním otvoru.

### **7.5.2 Měření v úrovni + 10,95 m**

Ve všech měření se teplota nedostala pod 1050 °C (nejnižší teplota byla mezi 1220 ÷ 1224).

## **7.6 ZKOUŠKA Č.3 VÝKON KOTLE 35 t/h PÁRY SE STABILIZACÍ PLYNEM**

### **7.6.1 Měření v úrovni + 7,5 m**

Při této zkoušce je kromě jednoho bodu, kde byla teplota nízká jen mezi 835 ÷ 861°C, jsou ve vhodné teplotě všechny body.

### **7.6.2 Měření v úrovni + 10,95 m**

Ve většině měření se teplota nedostala pod 1050 °C (pouze ve dvou bodech byla teplota lehce pod 1050°C), z toho vyplývá, že tyto body nejsou úplně vhodné.

## **7.7 ZKOUŠKA Č.4 VÝKON KOTLE 25 t/h PÁRY SE STABILIZACÍ PLYNEM**

### **7.7.1 Měření v úrovni + 7,5 m**

I u této zkoušky ve většině měřících bodů byla teplota použitelná a nejvhodnější byly body 1-5 v pravém a levém předním otvoru i pravém zadním otvoru. Ještě na hranici teplotního okna jsou body 3,4,5 levém zadním otvoru.

### **7.7.2 Měření v úrovni + 10,95 m**

Ve všech měření se teplota nedostala pod 1050 °C (nejnižší teplota byla mezi 1120 ÷ 1127).

## 7.8 ZÁVĚR MĚŘENÍ

Při obou zkouškách při výkonu 45t/h byly teploty v prvním i v druhém tahu dost vysoké, takže při umístění vstřikovacích trysek musíme jít výše v druhém tahu, kde teplota je o něco nižší nebo s močovinou vstřikovat více vody, reakce začne až po odpaření vody dál po proudu spalin. Další možností je uměle chladit spaliny vodou. V kotli jsou umístěna zchlazovací kopí, které rozprašují demivodu, ale za cenu ztrát. Tato možnost se využívá na teplárně TKV, kde již nebyl prostor jít dál do nižších teplot. Při nižších výkonech je možností pro umístění trysek daleko více, protože optimální teplota se nachází ve více bodech. Při parním výkonu 35 t/h je možnost umístění trysek jak v prvním tak i v druhém tahu na úrovni 7,5 m ve všech bodech. Při minimálním výkonu je to obdobné až na pár horkých míst mimo optimální teplotní okno v druhém tahu.

Později došlo ještě k úpravě spalování a v reálném provozu budou při nižších výkonech využívána vstřikovací kopí na úrovni +10,95m a při maximálním výkonu kotle bude vstřikování přesměrováno do úrovně +7,5m. Tato metoda se ve skutečném provozu ověřila a bude používána.

## **8. SEKUNDÁRNÍ OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ EMISÍ NO<sub>x</sub> (TECHNOLOGIE SNCR)**

### **8.1 HLAVNÍ ČÁSTI TECHNOLOGIE SNCR**

- 1 ks dvouplášťové zásobní nádrže o objemu 10 m<sup>3</sup> vč. přístrojového vybavení
- 1 ks stáčecího zařízení vč. skříňky řízení a ovládání
- 2 ks ponorných oběhových čerpadel sataminu 3711 vč. příslušenství
- 2 ks směšovacího a rozdělovacího modulu pro 7 vstřikovacích trysek ve 2 výškových úrovních vstřikování na každém kotli
- 7 ks vstřikovacích trysek, sestávajících z prostupových a ochranných trubek, tubusů, nosných kopí, rozprašovacích vstřikovacích dýz a připojovacích hadic propojovacího potrubí na pracovní média (satamin 3711, procesní voda a tlakový vzduch)
- měření NH<sub>3</sub> ve spalínách
- armatury, podpěrné nosníky a konzole
- kabeláž elektro + MaR včetně nutného vystrojení

#### **Použitá media**

- redukční přípravek (satamin 3711)
- procesní ředicí změkčená voda
- přístrojový stlačený vzduch
- procesní stlačený vzduch
- elektrická energie

### **8.2 STÁČIŠTĚ REDUKČNÍHO PŘÍPRAVKU**

Stáčiště je venkovní prostor určený pro stáčení redukčního přípravku pro technologii SNCR a je situováno před transformátory v blízkosti kotle K3. Stáčiště tvoří plocha pro stání autocisterny dopravující redukční přípravek. K zachytu úkapů nebo úniku redukčního přípravku při stáčení redukčního přípravku slouží přenosná zachytňá vana, která bude součástí vybavení autocisterny. Součástí stáčiště je připojovací bajonetové šroubení pro hadici autocisterny, ruční kulový uzávěr, ventil s pohonem umístěný v prostoru u vstupu do budovy energetiky a stáčecí potrubí vedoucí od stáčiště do zásobní nádrže. Dále je na stáčišti umístěn rozvaděč, z něhož

je možné ovládat kulový kohout s pneupohonem stáčení redukčního přípravku do zásobní nádrže. Dále je zde umístěna vizuální a zvuková signalizace přeplnění nádrže. V případě přeplnění nádrže dojde automaticky také k bezpečnostnímu uzavření kulového kohoutu. Stáčení redukčního přípravku je prováděno řidičem autocisterny.



Obr. 14

### 8.2.1 Potrubní zapojení a způsob stáčení

Na výstupním potrubí z vlastní cisterny je ruční ventil, ovládaný přes kardanovou tyč z plošiny cisterny. Doba uzavírání tohoto ventilu lze odhadnout na 45 s. Výpustní potrubí je dále před hadicovou koncovkou opatřeno ruční pákovou klapkou s dobou uzavírání  $< 5$  s. Pružnou hadicí s ocelovým výpletem je při stáčení realizováno propojení s bajonetovou přípojkou na plnicím potrubí zásobní nádrže. Toto potrubí je opatřeno ručním kulovým ventilem a kulovým kohoutem s pneupohonem. Doba uzavírání těchto ventilů je  $< 5$  s. V případě vzniku netěsnosti na trase stáčení redukčního přípravku řidič cisterny uzavře ruční klapku na výpusti cisterny a kulový kohout s pneupohonem a následně ruční kulový ventil na přívodu stáčení. Celková doba těchto manipulací se pohybuje maximálně do 20 s. Při úniku redukčního přípravku je nutné postupovat v závislosti na míře a povaze kontaminace. V případě velkého úniku - havárie je nutné postupovat v souladu s „Havarijním plánem“. Redukční přípravek na bázi technické močoviny (SATAMIN 3711) patří do nejnižší, tj. I. kategorie nebezpečnosti pro povrchové vody a veřejné vodoteče. Dle bezpečnostního listu (satamin 3711 na bázi 40% technické močoviny) se jedná o biologicky odbouratelný přípravek.

### 8.2.2 Sklad redukčního přípravku Satamin 3711

Skład redukčního přípravku (zásobní nádrž) se nachází v prostoru vedle elektroodlučovače, v blízkosti komínu. Zásobní nádrž je umístěna na betonové základové desce. Nádrž slouží pro uskladnění kapalného redukčního přípravku pro Satamin 3711 pro účely sekundárních opatření DeNOx. Jelikož se nádrž nachází ve venkovním prostředí, je třeba zásobní nádrž temperovat.

#### Parametry zásobní nádrže

Typ:	stojatá dvouplášťová nádrž, 1 ks
Objem	10m <sup>3</sup>
Rozměry	průměr 2,0 m, výška 3,7m
Materiál	sklolaminát
Hmotnost prázdné nádrže	2300 kg
Příslušenství	měření hladiny s místní a dálkovou signalizací, měření hladiny MAX, měření teploty redukčního přípravku, signalizace průniku přípravku do mezistěny, elektroohřev skladované kapaliny, plnicí, výtlačné a recirkulační potrubí, žebřík s obslužnou plošinou.

#### Technická data redukčního přípravku

Typ	Satamin 3711 (základ, 40% roztok močoviny)
Barva	modrá
Minimální skladovací teplota	10°C
Hustota	1130 kg/m <sup>3</sup>
Hodnota pH	9,5

## 8.3 PONORNÁ ČERPADLA

Pro dopravu redukčního přípravku k směšovací modulům jsou použity dvě ponorná čerpadla (1x provozní, 1x 100% záskok) s pracovní částí z chromniklové oceli. Ponorné čerpadlo saje redukční přípravek z nádrže, dopravuje dostatečné množství redukčního přípravku s požadovaným tlakem do krátkého cirkulačního okruhu



vybaveného pružinovým přepouštěcím ventilem. Z cirkulačního okruhu je realizována potrubní odbočka – přívodní potrubí ke směšovacím modulům pro kotle K1 a K3.

Čerpadla jsou umístěná ve vodorovné poloze na dně sklolaminátové dvouplášťové nádrže. Motorová část až po nasávací mřížku má dvouplášťové uspořádání. Nasávaná kapalina obtéká tubus motoru a současně ho chladí. Výtlak čerpadla je proveden nerezovou hadicí a je šroubením napojen na armaturu, prostupující víkem nádrže. Toto uspořádání je nutné z důvodu nemožnosti prostupu stěnou zásobní dvouplášťové nádrže. Čerpadla jsou upevněna na nerezovém lanku umožňujícím jejich vytažení v případě nutné revize nebo opravy. Jelikož dopravovaná látka (roztok technické močoviny ve vodě) je látkou na vzduchu krystalizující, nedoporučuje se vytahování čerpadel z nádrže. V případě vytažení čerpadel z nádrže na déle než 30 minut je třeba čerpadlo řádně propláchnout čistou vodou, případně umístit do nádoby naplněné vodou. Pro krátkodobou zevrubnou kontrolu čerpadla (například kontrolu poškození vnějších částí, kontrolu dotažení šroubení, apod.) a opětovnou instalaci do nádrže není třeba vnitřní části čerpadla proplachovat. Z vnější části doporučujeme pro snadnější manipulaci čerpadlo otřít hadrem.

### 8.3.1 Příslušenství čerpadla

- ruční ventily na výtlaku na vrchní plošině nádrže
- zpětné ventily na výtlaku (jsou součástí čerpadel)
- měření tlaku s místní a dálkovou signalizací
- pružinový redukční ventil recirkulace čerpaného média

#### Parametry čerpadla redukčního přípravku

Popis:	vícestupňové odstředivé ponorné čerpadlo
Výrobce:	Grundfos
Typ:	SP1A-18
Kapacita:	min. 0,1m <sup>3</sup> /h, norm. 0,4m <sup>3</sup> /h, max. 0,8m <sup>3</sup> /h
Příkon:	0,75kW
El. energie:	3 x 400V, 50Hz
Sací tlak:	min. 0,02bar, max. 0,6bar
Tlak v rozvodu:	min. 6 bar, norm. 9bar, max. 10bar
Diferenční tlak:	min. 6bar, max. 10bar

Dopravní výška:	min. 80m, norm. 90m, max. 105mH <sub>2</sub> O
Účinnost čerpadla:	cca 70%
Materiál tělesa čerpadla a oběž. kola:	nerez 1.4301

### 8.3.2 Ohřev nádrže

Redukční přípravek v nádrži je nutno v zimních měsících otápět, aby teplota redukčního přípravku nepoklesla pod 7°C, což je bod krystalizace roztoku močoviny. K tomuto účelu je v nádrži umístěn elektrický samoregulační topný kabel. Tento topný kabel je ovládán od signálu teploty redukčního přípravku, která je měřena teploměrem, který je součástí kombinovaného přístroje kontinuálního měření hladiny v nádrži. Aktuální teplota redukčního přípravku v nádrži je signalizována na operátorských obrazovkách, stejně jako signalizace funkce elektrického ohřevu. Maximální elektrický příkon ohřevu je 800W, roční provozní doba ohřevu je při kontinuálním provozu a použití 45% močoviny min. 5000 h/rok.

## 8.4 SMĚŠOVACÍ MODULY

Jedná se o jednu z nejdůležitějších součástí denitrifikačního SNCR zařízení, která provádí:

- změna koncentrace redukčního roztoku ve vazbě na potřebu snížení množství NO<sub>x</sub> ve spalínách
- dořed'ování redukčního přípravku (sataminu 3711) procesní vodou z důvodu zachování konstantního množství směsi redukčního přípravku a vody na rozprašovací dýze
- proporcionální rozdělení vytvořené směsi pomocí ručních regulačních ventilů do dvojic vstřikovacích dýz

### 8.4.1 Hlavní části směšovacího modulu

- 3 ks elektropneumatických regulačních ventilů pro redukční prostředek, procesní vodu a atomizační vzduch
- 1 ks elektromagnetického průtokoměru pro redukční prostředek
- 1 ks plovákového průtokoměru pro procesní vodu
- 1 ks plovákového průtokoměru na potrubí tlakového vzduchu
- 4 ks trubicových tlakových průtokoměrů typu

- rotametr na rozvodu směsi k jednotlivým dýzám
- uzavírací ventily, filtry, zpětné klapky, manometry
- rozvaděč na zabezpečení napájecího napětí pro měřicí přístroje a regulační armatury



Obr. 15

## 8.5 SYSTÉM VSTŘIKOVÁNÍ DO KOTLŮ K1 A K3

Základem vstřikovacího systému je dvoumédiová dýza, umístěná na nosném kopí. Kopí je napojeno na rozvod tlakového vzduchu a redukčního přípravku pomocí pružných tlakových hadic. Do spalovací komory kotle je dýza zaústěna prostřednictvím prostupové krycí trubky. Proti posunu je aretována vačkovým uzávěrem. Ten slouží současně k aretování uzávěru prostupové krycí trubky v případě vysunutí vstřikovacího kopí při provozu kotle.

V tomto provedení je instalováno na každém kotli K1 a K3 celkem 7 kusů vstřikovacích kompletů. Jsou umístěny ve dvou vstřikovacích hladinách. Sklon trysek je od horizontální roviny 5°. Vstřikovací kopí jsou umístěna na kótě cca +7,50 m (4 ks) a +10,15 m (3ks).

### 8.5.1 Měření čpavkového skluzu $\text{NH}_3$

Pro kontrolu a řízení technologie DeNOx jsou ve výstupních spalínovodech kotlů K1 a K3 instalována měření zbytkového obsahu  $\text{NH}_3$  ve spalínách. Vysoký obsah zbytkového  $\text{NH}_3$  ve spalínách je signálem nesprávného chodu technologie SNCR. Jedná se o měření  $\text{NH}_3$  ve dvou nezávislých spalínovodech kotlů K1 a K3 se společnou

vyhodnocovací jednotkou umístěnou v klimatizované místnosti analyzátoru plyných emisí v prostoru u komína pod spalínovody. Výstupy do řídicího systému kotlů jsou realizovány prostřednictvím komunikace.

Analyzátor zbytkového  $\text{NH}_3$  ve spalínách je analyzátor plynů využívající molekulární absorpční spektrometrie. Diodový laser vyzařuje paprsek, který prochází proudem plynu a je na druhé straně kouřovodu detekován přijímací jednotkou. Zjednodušeně  $\text{NH}_3$  pohlcuje světelný paprsek procházející průřezem spalínovodu a výstupní signál je přímo úměrný množství  $\text{NH}_3$  ve spalínách. Jedná se o analyzátor LDS 6 (1 ks pro dva kotle) výrobce Siemens, dvoukanálovou vyhodnocovací jednotku s nejmenším detekčním limitem 0,5ppm, typickým rozsahem 0 – 50ppm, maximálním rozsahem 0 – 500ppm a rozlišením 1ppm – vše pro 1 m měřené délky. Sestava je tvořena 1 ks analyzátoru LDS 6 a 2 ks snímači pro dva kotle CD6.

Vlastní měření  $\text{NH}_3$  jsou umístěna ve spalínovodu  $D=2,24\text{m}$  na plošině ve výšce +10,600m. Kouřovod je osazen vysílačem a snímačem typ: LDS 6, 7MB6122-0WC12-0GB1. Krytí IP65, napájení 24VDC, výstupní signál – optický kabel v hybridním kabelu.

Pro zabránění zanesení optiky prachem je v blízkosti analyzátoru umístěn přívod přístrojového tlakového vzduchu zajišťující dodávku vzduchu pro ofukování optiky. Pomocí externího rotometru a jehlových regulačních ventilů je nastaven průtok vzduchu (10-100 l/min) ke každé hlavici samostatně.

## **8.6 VODÁRNA A POTRUBÍ FILTROVANÉ VODY**

Reakční činidlo je do spalovací komory přiváděno ve směsi s vodou. Pro dodávku této ředicí vody je zřízena vodárna, umístěná na kotelně +7,00 m v prostoru mezi kotli K2 a K3, na kterou je přiváděna filtrovaná voda z CHÚV PPR potrubím DN25 přes průtokoměr Sensus a kulové ventily přímo na sání dvojice čerpadel ředicí vody WILO M066 a M067 (1 x provozní, 1 x 100% záloha). Výtlačné potrubí těchto čerpadel je vedeno prostřednictvím pružné tlakové hadice do jednotlivých stanic směšovacích stanic SNCR, kde dochází k přípravě správné a konstantní směsi redukčního přípravku a vody pro dávkovací kopí do kotlů. Výtlačné potrubí je zajištěno proti zpětnému toku média zpětnými klapkami, které jsou umístěny za oběma čerpadly a správný přetlak je udržován expanzomatem Reflex Refix DE o objemu 200 l. Expanzomat

je v provedení membránovém a potrubní rozvod vodárny je napojen pomocí pružné tlakové hadice.



Obr. 16

Účelem vodárny je posílení tlaku procesní změkčené vody ze stávajících rozvodů teplárny o nevyhovujícím tlaku na požadovaný tlak pro potřebu technologie SNCR. Čerpadla jsou v provedení svislém vícestupňovém a výtlaku až 16bar. Kapacita každého čerpadla stačí na pokrytí provozu obou kotlů současně.

#### **8.6.1 Technická specifikace vodárny**

Čerpadlo:	WiloMultivert MVI 112 (3 x 400V, 50Hz, EPDM, PN16, 1,38/1,1 kW, 16 bar) 2,0 až 3,0 m <sup>3</sup> /h
Expanzomat:	Reflex DE 00/16, 200 l, DN32, 16 bar
Propojovací potrubí:	DN25, PN16, 33,7x2,6, mat. 1.4301
Přívodní potrubí:	DN25, PN10, 33,7x2,6, mat. PPR a 1.4301

### **8.7 KOMPRESOROVÁ STANICE, SUŠIČE VZDUCHU A POTRUBÍ**

Účelem stanice je zajištění tlakového vzduchu pro potřebu technologie DeNOx a současně pro technologii DeSOx (tzv. společné zařízení).

Kompresorová stanice je tvořena dvojicí šroubových kompresorů (1 x provozní, 1 x 100% záloha) s integrovaným vzdušníkem a integrovaným kondenzačním sušičem, jedním adsorpčním sušičem, separátory olej/voda a příslušnou filtrací. Vznikající kondenzát je odváděn společným potrubím kondenzátu a je napojen na stávající odvod kondenzátu z velkých kompresorových jednotek Atlas Copco na strojovně.

Vzduch odebíraný z kompresoru je filtrován hrubým filtrem a slouží jako procesní tlakový vzduch. Část tohoto vzduchu je odebírána odbočkou mezi kotli K2 a K3 a dále upravována v adsorpčním sušiči a filtrována dle požadavků na výrobu „přístrojového vymraženého“ tlakového vzduchu pro potřebu ovládání armatur, měření skluzu NH<sub>3</sub> a pro technologii DeSOx. Kompresorová stanice je umístěna na strojovně na podlaze +7,00, adsorpční sušič je umístěn na kotelně na úrovni +7,00 u sloupu schodiště v blízkosti kotle K3.

### 8.7.1 Technická specifikace kompresorové stanice

#### Kompresor

Typ	Atlas Copco GA22 – P8,5 FM TM
El. energie	500V, 50 Hz
Příkon	22 kW
Výstup vzduchu	G1“, 8,5bar, 62,4 l/s

#### Adsorpční sušič

Typ	SPX DeltechEuroDryCompact 23
Výstupní vzduch	G3/4“, 77,4 m <sup>3</sup> /h
Tlakový rosný bod	-40°C

#### Filtrace

Popis	hrubý filtr, jemný filtr, prachový filtr
Separátor voda/olej	AtlasCopco
typ	OSC95

### 8.7.2 Potrubí tlakového vzduchu z obou kompresorů

Potrubí je vzájemně spojeno do jednoho společného potrubí DN25, PN10, 33,7x2,6, mat. 1.4301, které vede po stěně mezi administrativní budovou a strojovnou zavěšené pod současným drátěným kabelovým žlabem až na úroveň směšovacího modulu K3,

kde potrubí přechází přes stěnu do prostoru kotelny a vede na úrovni plošiny +9,800 ze spodní strany stávajícího kabelového žlabu. U kotle K3 se potrubí stáčí vlevo a samostatně pokračuje pod plošinou +9,800 až ke společnému potrubnímu svazku mezi moduly K1 a K3. V tomto místě na ně navazuje potrubní rozvod procesního tlakového vzduchu.

## 9. ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se zabýval, možností denitrifikace primárními a sekundárními metodami dvou totožných teplárenských kotlů.

V první části mé práce se zabývám popisem oxidů dusíku a krátce dusíkatými sloučeninami. Soustředil jsem se především na tzv. palivový, termický a rychlý  $\text{NO}$ . Záměrně jsem zmínil i oxid dusný, který mezi tzv. „noxy“ nepatří, protože ve spalovacím procesu klasických kotlů vzniká ve velmi malé míře, ale pro ozonovou vrstvu je srovnatelné množství  $\text{N}_2\text{O}$  200krát horší než  $\text{CO}_2$ .

V druhé části popisují současné primární a sekundární metody denitrifikace. V praxi se osvědčila jejich kombinace pro dosažení emisních limitů. Primární metody jsou navrženy, tak aby vznik „noxů“ byl maximálně potlačen. Naopak sekundární metody již vzniklé „noxy“ ze spalin snižují.

Ve třetí části popisují zařízení na, které se denitrifikační zařízení aplikuje a po-té jaké primární opatření se použilo. Pro primární opatření byl dán limit  $480 \text{ mg/m}_n^3 \text{ NO}_x$  a následné měření v praxi ukázalo, že se tento limit dá bez problému zvládnout.

Ve čtvrté části jsem počítal ze začátku hmotové bilance paliva, protože složení uhlí v surovém stavu jsem znal z měření účinnosti, tak jediné co mě zajímalo, bylo složení hořlaviny. Mohl jsem ještě počítat složení uhlí v analytickém stavu, ale pro mou práci to nebylo důležité. Dále jsem potřeboval zjistit hmotovou bilanci spalin. Díky ní jsem zjistil, kolik vznikne spalin spálením 1 kg uhlí a složení těchto spalin. Pro technologii SNCR je důležité vědět spotřebu močoviny. U tohoto výpočtu je potřeba si uvědomit, že metodou SNCR neodstráním obecně  $\text{NO}_x$ , ale jen  $\text{NO}$ .

Pro správnou reakci močoviny s  $\text{NO}$  je rozhodující teplota, tzv. „teplotní okno“. To najdeme pomocí měření teplotních polí. Měření probíhalo měřicí skupinou doc. Čecha ve dvou úrovních +10,95m a +7,5m. Měření neprokázalo, že se úroveň výše nehodí pro nástřik močoviny a tak došlo ještě úpravě a doladění spalování. Umístění vstřikovacích kopí je tedy ve dvou úrovních. Pro nižší výkony jsou umístěny 3 kopí v úrovni +10,15m a pro vyšší výkony 4 kopí v úrovni +7,5m.

Na závěr se ještě musela rozmístit technologie jako například stáčiště, zásobní nádrž, směšovací moduly atd. Postupovalo se podle uspořádání teplárny. Při návrhu musíme brát v potaz, že pro vstřikování močoviny potřebujeme změkčenou vodu, stlačený vzduch a elektrickou energii. K tomu musíme přizpůsobit napojení k technologii.



## 10. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Černý, V., Janeba, B., Teyssler, J.: *Parní kotle – technický průvodce*. SNTL, Praha, 1983, 1. vydání, 864 str.
- [2] JANEBA, B., KARTÁK, J. *Výpočet kotlů a parogenerátorů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1975.
- [3] MICHALÍK, P. *Místní provozní bezpečnostní předpis - Kotelna. Karviná*:2015. 133 s.
- [4] Horák j. *Úvod do teorie spalování tuhých paliv* [online], Dostupné z www <<http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/spalovani-tuhych-paliv.pdf>>
- [5] *Základy spalování* [online], 2008. Dostupné z www <[http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/zakl\\_spal.pdf](http://vec.vsb.cz/userfiles/pdf/studijni-materialy/zakl_spal.pdf)>
- [6] Soubor naměřených hodnot (archiv KE DEZ VŠB)
- [7] IBLER, Z. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-730-0026-1.
- [8] VEJVODA, J., MACHAČ, P., BURYAN, P. *Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická [Praha], 2003. ISBN 80-7080-517-X.

## **11. SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha A - Provedení prostupu přes stěnu kotle

Příloha B - Umístění vstřikovacích kopí bokorys

Příloha C - Umístění vstřikovacích kopí půdorys

Příloha D - Umístění vstřikovacích kopí nárys

Příloha E - Provedení prostupu přes vlez kotle

Příloha F - Bezpečnostní list Satamin 3711

Příloha G – Měření teplotních a koncentračních polí